



SKRIPSI - TK141581

***SIMULASI PARTICLE TRAJECTORY DARI
DEPOSISI CHARGED AEROSOL PARTICLES PADA
SINGLE TREATED SUBSTRATE***

Rina Pebriana
NRP 2313 105 026
Afilda Della Fadly
NRP 2313 105 035

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 195209161980031002
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng
NIP. 197612292009121001

JURUSAN TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - TK141581

***Particle Trajectory Simulation of Charged
Aerosol Particles Deposition on Single Treated
Substrate***

Rina Pebriana
NRP 2313 105 026
Afilda Della Fadly
NRP 2313 105 035

Supervisor

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 195209161980031002
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng
NIP. 197612292009121001

CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PARTICLE TRAJECTORY DARI DEPOSISI CHARGED AEROSOL PARTICLE PADA SINGLE TREATED SUBSTRATE

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi
Sepuluh Nopember Surabaya

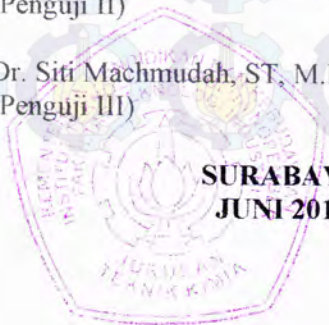
Oleh :

Rina Pebriana
Afilda Della Fadly

2313105026
2313105035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
(Pembimbing I)
2. Dr. Kusdianto, S.T., MSc.Eng
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng
(Penguji I)
4. Dr. Tantular Nurtono, ST, M.Eng
(Penguji II)
5. Dr. Siti Machmudah, ST, M.Eng
(Penguji III)



SURABAYA
JUNI 2015

**SIMULASI *PARTICLE TRAJECTORY* DARI DEPOSISI
CHARGED AEROSOL PARTICLE PADA *SINGLE*
*TREATED SUBSTRATE***

Nama Mahasiswa : Rina Pebriana (2313105026)
Afilda Della Fadly (2313105035)
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M. Eng.
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengkaji proses deposisi partikel bermuatan pada single substrate yang memiliki perbedaan muatan elektrik potensial menggunakan simulasi numeric dengan CFD (Computational Fluid Dynamics). Hasil dari penelitian diharapkan dapat menentukan kondisi optimum dengan memvariasikan berbagai kondisi yaitu : muatan pada substrat dan jarak antara nozzle dan substrate, sehingga lintasan partikel dapat diketahui.

Metode simulasi berbasis CFD digunakan karena deposisi partikel pada treated substrate tidak dapat diprediksi. Sehingga, memerlukan analisis secara modelling dengan menggunakan CFD Fluent untuk mengamati lebih detail pola deposisi partikel tersebut.

Simulasi ini menggunakan gambar dua dimensi dengan panjang 70 mm dan lebar 30 mm. Inlet berupa nozzle dengan ukuran 0,1 mm. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah charged aerosol particle SiO_2 dan treated substrate berbahan aluminium. Variabel yang digunakan adalah flowrate gas, flowrate partikel, diameter partikel, ukuran outflow, dan jarak antara nozzle dan substrat. Metodologi terdiri dari beberapa tahapan yaitu: membuat model geometri menggunakan DesignModeler[®], membuat grid menggunakan Meshing[®], mengimpor grid ke dalam FLUENT, memilih formulasi solver,

mengaktifkan Discrete Phase Model, menggunakan fungsi UDF dengan memasukkan persamaan electric force, menentukan material, kondisi operasi, dan parameter, perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®. Selanjutnya penyelesaian hasil yang diamati dalam proses deposisi partikel pada treated substrat.

Hasil simulasi menunjukkan lebih banyak partikel yang didapatkan dengan memperbesar flowrate gas dan flowrate partikel. Namun, diameter partikel dan jarak antara nozzle dengan substrat menunjukkan efek yang tidak signifikan terhadap vector kecepatan, sedangkan ukuran outflow mempengaruhi vector kecepatan. Kondisi optimum akhir simulasi yang diperoleh yaitu pada flowrate gas 200 ml/jam, dengan flowrate partikel 1 ml/jam, dengan jarak antara nozzle dengan substrat sebesar 70 mm, dan dimensi outflow sebesar 2.5mm. Dengan mengatur simulasi pada kondisi tersebut, diperoleh 99% partikel bermuatan yang terdeposisi pada treated substrate.

Kata kunci : CFD, deposisi partikel, treated substrate

PARTICLE TRAJECTORY SIMULATION OF CHARGED AEROSOL PARTICLES ON SINGLE TREATED SUBSTRATE

Name of Student : Rina Pebriana (2313105026)
Afilda Della Fadly (2313105035)
Department : Chemical Engineering FTI-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M. Eng.
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate deposition of charged aerosol particles into the single substrate having different levels of surface electric potential using numerical simulation based on Computational Fluid Dynamic (CFD). The result of this research was expected to determine optimum conditions by varying several conditions insuch as: charged on substrate and the distance between nozzle and substrate, so the particle track can be determined.

Simulation method based on CFD was used because the deposition of particles on the treated substrate has unpredictable patterns. Thus, it requires analysis modeling using CFD based Fluent to observe the pattern of deposition of the particles in detail.

This simulation using two-dimensional image with length 70 mm and width 30 mm. 0.1 mm nozzle was used as inlet. Material used in this study was SiO₂ charged aerosol particles and aluminium as substrate. The manipulated variables were gas flowrate, particle flowrate, particle diameter, outflow size, and the distance between nozzle and substrate. The methodology of this research included: making the model geometry using DesignModeler®, making grid using Meshing®, importing grid to FLUENT, choosing solver formulation, activating Discrete Phase Model, using UDF function by inserting electric force equation, determining material, operating condition, and parameter, CFD using FLUENT®

simulation iteration calculation. Furthermore, the completion of the results observed in the process of deposition of particles on the treated substrate.

The result showed that more particles were observed by enlarging the gas and particle flowrate. However, particle diameter and the the distance between nozzle and substrate showed insignificant effect to vector velocity, while the outflow size affected vector velocity. The optimum condition of this results was attained when the gas flowrate, particle flowrate, the distance between nozzle and substrate, and outflow size were 200 ml/hr, 1 ml/hr, 70 mm, and 2.5 mm, respectively. By setting simulation under these conditions, almost 99% of the charged aerosol particles could be successfully deposited on treated substrate.

Keywords: CFD, particle deposition, treated substrate

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas segala petunjuk, karunia, dan kemudahan-Nya yang diberikan kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi kami yang berjudul “ **SIMULASI PARTICLE TRAJECTORY DARI DEPOSISI CHARGED AEROSOL PARTICLE PADA SINGLE TREATED SUBSTRATE** ”.

Laporan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan kelulusan yang harus dilaksanakan oleh seluruh mahasiswa strata satu di Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penyusun mendapatkan berbagai macam bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orangtua kami atas dukungan, semangat, dan doanya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng, selaku dosen pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Kusdianto S.T., M.Sc.Eng., selaku dosen pembimbing kami yang selalu memberikan pengarahan dan motivasi kepada kami.
4. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng., Ibu Dr. Siti Machmudah, ST, M.Eng dan Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng atas masukan-masukan yang telah diberikan kepada kami.
5. Bapak Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D., selaku koordinator Skripsi dan Tugas Akhir serta dosen wali kami.
6. Bang Farid selaku Laboran Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran atas dukungan semangatnya.
7. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan-rekan dari Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini yang tidak dapat

kami sebutkan satu-persatu.

Penyusun menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penyusunan laporan ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami mengharapkan segala saran dan masukan yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya kepada ilmu pengetahuan.

Surabaya, 14 Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK (INDONESIA)	i
ABSTRACT (ENGLISH)	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Treatment Substrat	5
II.1.1 Proses Fisik	5
II.1.2 Proses Kimia	7
II.1.3 Kombinasi Proses Fisik dan Kimia	8
II.2 Deposisi <i>Charged Aerosol Particles</i> pada <i>Treated Substrate</i>	8
II.3 Gerak Brownian dan Difusi	17
II.4 Deposisi <i>Charged Aerosol Particles</i> pada <i>Treated</i> <i>Substrate</i>	17
II.5 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	19
II.6 Discrete Phase Model (DPM) pada CFD	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Sistem yang Dipelajari	23
III.2 Bahan yang Digunakan	24
III.3 Permodelan	24
III.4 Kondisi Batas	25
III.5 Produser Simulasi	25
III.6 Variabel Penelitian	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Permodelan Simulasi Deposisi Partikel pada CFD FLUENT	27
IV.2 Validasi Hasil Eksperimen dengan Simulasi	27
IV.3 Pengaruh Adanya Electric Force Terhadap Hasil Simulasi	29
IV.3.1 Pengaruh Adanya Electric Force Terhadap Gerakan Partikel	29
IV.3.2 Pengaruh Adanya Electric Force Terhadap Jumlah Partikel Terdeposisi	30
IV.4 Pengaruh Variabel Flowrate Terhadap Hasil Simulasi	31
IV.4.1 Pengaruh Variabel Flowrate Gas	31
IV.4.2 Pengaruh Variabel Flowrate Partikel	36
IV.5 Perbandingan Ukuran Diameter Partikel Terhadap Hasil Simulasi	39
IV.6 Perbandingan Jarak Antara Nozzle dan Substrat Terhadap Hasil Simulasi	43
IV.7 Perbandingan Ukuran Outflow Terhadap Hasil Simulasi	47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan	53
V.2 Saran	54

DAFTAR PUSTAKAxii

DAFTAR NOTASI xv

APPENDIKSA-1

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	<i>Surface treatment</i> dengan proses kimia	7
Tabel III.1	Dimensi untuk simulasi deposisi charged particle	24
Tabel. IV.1	Perbandingan gambar profil deposisi partikel	29
Tabel. IV.2	Perbandingan deposisi partikel	31
Tabel. IV.3	Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel flowrate gas	32
Tabel. IV.4	Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel flowrate partikel	36
Tabel IV.5	Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel diameter partikel	40
Tabel IV.6	Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel jarak	44
Tabel IV.7	Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel outflow gas	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	<i>Surface treatment</i> menggunakan proses fisik	6
Gambar II.2	Deposisi partikel pada <i>surface charged-patterned</i>	10
Gambar II.3	Partikel PLGA yang dideposisikan ke substrat...	12
Gambar II.4	Hasil simulasi terhadap hasil percobaan dengan <i>electrospray</i>	13
Gambar II.5	SEM-images dari (A) deposisi partikel dengan injeksi ion (Kim et al., 2006) (B) <i>Particle trajectory</i> deposisi partikel Ag	14
Gambar II.6	FE-SEM Image dari deposisi partikel pada (a) <i>untreated</i> dan (b) <i>treated substrate</i> yang telah dirotasi	15
Gambar II.7	Gambar deposisi partikel pada <i>treated substrate</i> dan <i>untreated substrate</i>	16
Gambar II.8	Simulasi <i>electric fields</i> pada substrat dalam ukuran makro (kanan) dan mikro di sekitar <i>interface</i> pada daerah <i>treated</i> dan <i>untreated</i> (kiri).....	16
Gambar III.1	Dimensi simulasi <i>particle trajectory</i> dari deposisi <i>charged aerosol particle</i> pada <i>single treated substrate</i>	23
Gambar IV.1	Validasi hasil simulasi terhadap eksperimen	28
Gambar IV.2	Pengaruh variabel <i>flowrate</i> gas terhadap <i>velocity aerosol</i>	34
Gambar IV.3	Pengaruh variabel <i>flowrate</i> gas terhadap deposisi partikel	35
Gambar IV.4	Pengaruh variabel <i>flowrate</i> partikel terhadap <i>velocity aerosol</i>	38
Gambar IV.5	Pengaruh variabel <i>flowrate</i> partikel terhadap deposisi partikel	39
Gambar IV.6	Perbandingan diameter partikel terhadap <i>velocity aerosol</i>	42
Gambar IV.7	Pengaruh variabel diameter partikel	

	terhadap deposisi partikel.....	43
Gambar IV.8	Perbandingan jarak antara nozzle dan substrat terhadap velocity aerosol	45
Gambar IV.9	Pengaruh variabel jarak terhadap deposisi partikel.....	46
Gambar IV.10	Perbandingan panjang outflow terhadap velocity aerosol	48
Gambar IV.11	Pengaruh panjang outflow terhadap deposisi partikel.....	49

DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
F_g	<i>Gravitational force on particle</i>	N
F_D	<i>Drag force on particle</i>	N
F_E	<i>Electric force on particle</i>	N
d_p	<i>Particle diameter</i>	m
t	<i>Time</i>	s
m_p	<i>Mass of particle</i>	kg
A	<i>Area</i>	m^2
K	<i>Energy kinetic turbulent</i>	m^2/s^2
g	<i>Gravitational Constant</i>	m/s^2
T	<i>Temperature</i>	K
P	<i>Pressure</i>	Pa
η	<i>Effectiveness factor</i>	[...]
v_g	<i>gas velocity</i>	m/s
v_p	<i>Particle velocity</i>	m/s
ρ_g	<i>Density of gas</i>	kg/m^3
ρ_p	<i>Density of particle</i>	kg/m^3
n	Jumah Droplet dalam 1 cell	[...]

C_c	<i>Cunningham Factor</i>	[...]
\vec{E}	<i>Electric Field</i>	V/m
Δx	jarak	m
Δw	Perbedaan muatan	mV
d	<i>diameter</i>	m
J	<i>Difussion Force</i>	N
D	Koefisien Difusi Partikel	[...]
B	<i>Ion Mobility</i>	[...]
μ	<i>viscosity</i>	kg/m.s

Subscript

i	vektor ke arah i
j	vektor ke arah j
k	vektor ke arah k
p	Partikel
l	laminar

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam memproduksi bahan berstruktur nano semakin meningkat. Aplikasinya sudah diterapkan dalam ilmu biologi (Kim *et al.*, 2008), mikroelektronika (Deng *et al.*, 2011), teknologi biomolekuler (Ranganath *et al.*, 2011), aplikasi kesehatan lingkungan (Jung *et al.*, 2011), partikel farmasi fabrikasi (Rezvanpor *et al.*, 2012), sistem sensor (Zhu *et al.*, 2012), dan komposisi matriks (Boccacini *et al.*, 2001). Umumnya, sintesis fase gas menggunakan proses seperti *flame*, dapat membuat nano partikel dengan kualitas tinggi. Partikel ini bisa dideposisikan pada substrat skala besar (mm order) dengan *self-assembly*. Namun, deposisi partikel pada substrat skala kecil tidak mudah dan tidak efektif karena adanya partikel yang hilang dan masalah ketidakfokusan. (Kusdianto, 2014)

Untuk mengatasi masalah tersebut, partikel-partikel yang dibuat dalam fase gas tersebut diubah menjadi suspensi dengan cara mendispersikannya, dan kemudian ditransfer ke substrat skala kecil (μm atau nanometer order) dengan menggunakan dua teknik, yaitu deposisi secara liquid yaitu dengan *electrospray*, dan dengan fase gas yaitu dengan aerosolisasi. Proses aerosolisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan mengubah menjadi partikel bermuatan (*electrospray*) dan dengan nebulizer. *Electrospray* merupakan metode atomisasi cair dengan menerapkan kekuatan listrik (Jaworek *et al.*, 2008).

Kondisi permukaan pada substrat juga dapat dimodifikasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap mekanisme deposisi partikel. Lenggoro *et al.* (2006) telah melakukan penelitian memodifikasi substrat menjadi berpola “plus/minus” dengan menggunakan *electrospray*. Kim *et al.* (2006) memodifikasi substrat dengan menggunakan *photoresist*. Metode yang digunakan untuk memodifikasi substrate tersebut dilakukan

secara fisika. Selanjutnya Naim *et al.* (2010) mencoba memodifikasi substrat dengan treatment secara kimia menggunakan NaOH dan H_3PO_4 . Akan tetapi proses tersebut tidak bisa digunakan untuk menjelaskan mekanisme deposisi secara detail.

Oleh karena itu, Kusdianto *et al.* (2014) mempelajari pengaruh *single substrate* yang ditreatment secara kimia sebagai target deposisi. Di dalam *single substrate* yang digunakan, mempunyai 2 area yang berbeda *surface* potensialnya. Tujuan dengan menggunakan *single substrate* ini adalah untuk menghindari masalah yang ditimbulkan akibat ketidakstabilan generator. Dari hasil penelitian tersebut, *positively-charged aerosol* mempunyai kecenderungan terdeposisi ke arah area yang sudah ditreatment secara kimia.

Deposisi partikel pada substrat sulit diamati karena adanya berbagai faktor seperti sifat pergerakan partikel yang dipengaruhi muatan listrik dan interaksi antar partikel. Penelitian sebelumnya hanya fokus pada medan listrik tanpa mempertimbangkan adanya partikel bermuatan. Sehingga perlu adanya pemantauan dan penelitian lebih lanjut mengenai pergerakan dan lintasan partikel bermuatan pada *treated substrate*.

Oleh karena itu, untuk mengamati fenomena yang terjadi pada pergerakan partikel pada *treated substrate* diperlukan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan software yang mendukung untuk mengamati pola alir yang kompleks dalam bentuk visual mengenai pergerakan partikel, memprediksi karakteristik Bergeraknya partikel yang dipengaruhi muatan listrik, dan mampu mengukur dan membandingkan pergerakan partikel dengan parameter kontrol yang mampu diatur dan diubah-ubah, seperti perbedaan muatan antar partikel, jumlah partikel, ukuran partikel, dan sebagainya.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam deposisi partikel pada *treated substrate* memiliki pola

arah lintasan yang tidak menentu dan sulit diprediksi. Sehingga, memerlukan analisis secara *modelling* dengan menggunakan CFD FLUENT untuk mengamati lebih detail pola deposisi partikel tersebut.

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Muatan pada partikel, substrat, dan nozzle.
2. Flowrate partikel dan flowrate gas.
3. Diameter partikel.
4. Jarak antara nozzle dengan substrat.
5. Ukuran outflow.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses deposisi partikel pada *treated* substrat menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) berbasis FLUENT melalui analisa gerak partikel bermuatan terhadap beda muatan pada *treated substrate* dan kecepatan aliran deposisi partikel, sehingga dapat mengetahui kondisi pergerakan partikel secara optimal.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah mengetahui deposisi partikel pada *treated substrate* guna mendukung teknologi nanomaterial. Serta dapat dijadikan sebagai dasar atau acuan dari penelitian lebih lanjut untuk industri coating, dan aplikasi dibidang lingkungan sebagai penangkap polutan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Treatment Substrat

Seperti yang telah diuraikan dalam Bab I, efisiensi dari deposisi dapat ditingkatkan dengan memodifikasi substrat. Modifikasi substrat dapat dibedakan menjadi beberapa jenis proses antara lain proses kimia, fisika, ataupun kombinasi dari keduanya.

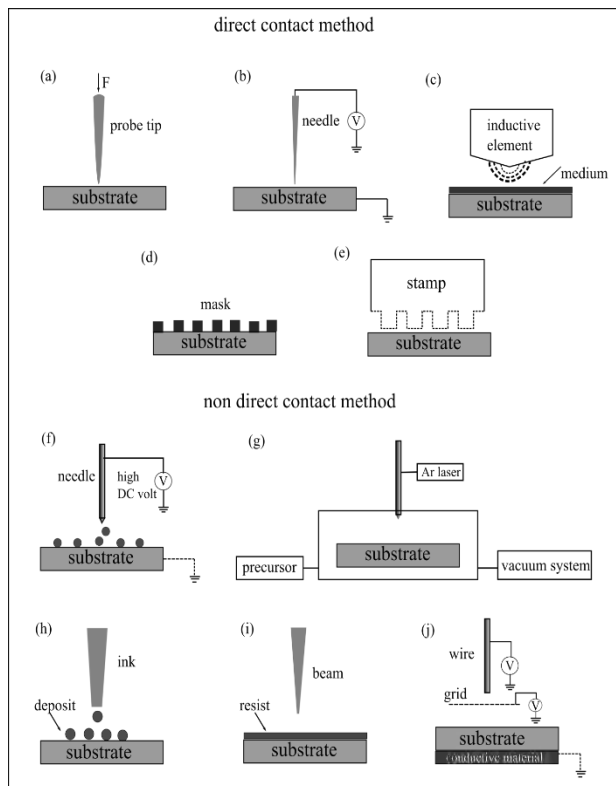
Dalam proses fisik, permukaan dapat dimodifikasi dengan menerapkan gaya langsung pada permukaan tanpa melibatkan reaksi kimia. Permukaan dapat dimodifikasi dengan membuat pola pada permukaan dengan menggunakan beberapa teknik, seperti: penulisan (*writing*), *masking*, *stamping*, dan sebagainya. Sebaliknya, modifikasi permukaan dengan reaksi kimia digunakan untuk membuat permukaan baru dengan sifat kimia yang berbeda pada permukaannya. Pada kombinasi proses fisik dan kimia, reaksi kimia terjadi setelah menerapkan proses fisik ke sistem. Detail uraian proses tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

II.1.1 Proses Fisik

Salah satu teknik yang digunakan untuk menghasilkan permukaan baru dengan proses fisik adalah *patterning* atau dikenal dengan istilah litografi. Proses fisik dapat dibedakan menjadi 2 metode yaitu metode kontak langsung (*direct contact*) dan kontak tidak langsung (*non-direct contact*).

Gambar. II.1 menunjukkan teknik modifikasi substrat yang dikategorikan menjadi dua metode, yaitu proses kontak langsung dan tak langsung. Proses kontak langsung ditunjukkan pada Gambar. II.1 (a-e), sedangkan proses kontak tidak langsung seperti: *electrospray*, *Laser Induced Chemical Vapor Deposition* (LCVD), *Ink-Jet Printing*, litografi *e-beam*, *corona charging* yang digambarkan dalam Gambar. II.1 (f-j). Meskipun proses ini merupakan *treatment* fisik, namun

kondisi permukaan setelah *treatment* tidak hanya mengubah secara fisik tetapi juga secara kimia. penulisan (*writing*) dengan ujung probe, sinar foton, medan listrik, dan medan magnet adalah contoh proses *treatment* fisik tanpa mengubah kondisi kimiawi permukaan substrat. Sementara, *e-beam*, *ink jet printing*, *stamping*, dan LCVD akan mengubah permukaan secara kimiawi setelah *treatment* pada kedua kondisi tersebut. (Kusdianto, 2014)



Gambar II.1 *Surface treatment* menggunakan proses fisik (Kusdianto, 2014)

II.1.2 Proses Kimia

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk modifikasi permukaan dengan *treatment* kimiawi seperti *dip coating*, penggoresan (*etching*), reaksi kimia, pencahayaan permukaan dengan sinar UV, dan *plasma treatment*.

Kondisi permukaan substrat setelah proses kimia difokuskan pada sifat permukaannya, termasuk apakah permukaannya bersifat hidrofilik atau hidrofobik atau pada partikel bermuatan yang terdapat pada lapisan luarnya.

Modifikasi permukaan substrat pada lapisan luar menggunakan partikel yang memiliki muatan berlawanan dengan partikel / molekul. Penggunaan partikel yang memiliki muatan berlawanan ini dapat meningkatkan interaksinya dengan substrat. Beberapa contoh *surface treatment* dengan proses kimia ditunjukkan oleh Tabel II.1 sebagai berikut:

Tabel II.1 *Surface treatment* dengan proses kimia

SUMBER	METODE	JENIS SUBSTRAT	KONDISI SUBSTRAT	BAHAN YANG DIGUNAKAN UNTUK <i>TREATMENT</i>
Wang et al., 2012	dip coating	kaca, kertas, aluminium	hidrofobik	Hexadimethyld isilazane (HDMS) / Tetraethoxysilane (TEOS)
Guhathakurta, 2007	etching	silikon	hidrofobik	Trimethylchlorosilane (TMSC) / Tetramethoxysilane (TMOS)
Cao et al., 2005	self assembly	silikon	hidrofobik	FeCl ₃ /HCl
Demirel et	self	silikon	hidrofilik	3-

al., 2009	assembly & surface chemical reaction			glycidoxyp- propylmethyl diethoxysilane (GPMS)
Dion et al., 2010	surface chemical reaction	silikon	hidrofobik	alkohol primer
Lin et al., 2009	UV exposure	silikon	hidrofilik	lampu UV
Steen et al., 2001	Plasma Treatment	polisulfonat	hidrofilik	plasma

Membuat permukaan hidrofobik dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti: litografi, *template*, *electrospinning*, sol-gel, *layer-by-layer*, penggoresan, *chemical vapor deposition*, oksidasi anodik, dan deposisi elektrokimia. (Celia et al., 2013)

II.1.3 Kombinasi Proses Fisik dan Kimia

Electrochemical anodizing dengan bahan aluminium adalah contoh *surface treatment* dengan kombinasi proses fisik dan kimia. Reaksi kimia terjadi dengan menggunakan tegangan tertentu. Produk dari proses ini disebut sebagai *Anodic Aluminium Oxide* (AAO). Detail dan mekanisme pembuatan AAO ini telah dijelaskan oleh Jani et al. (2013)

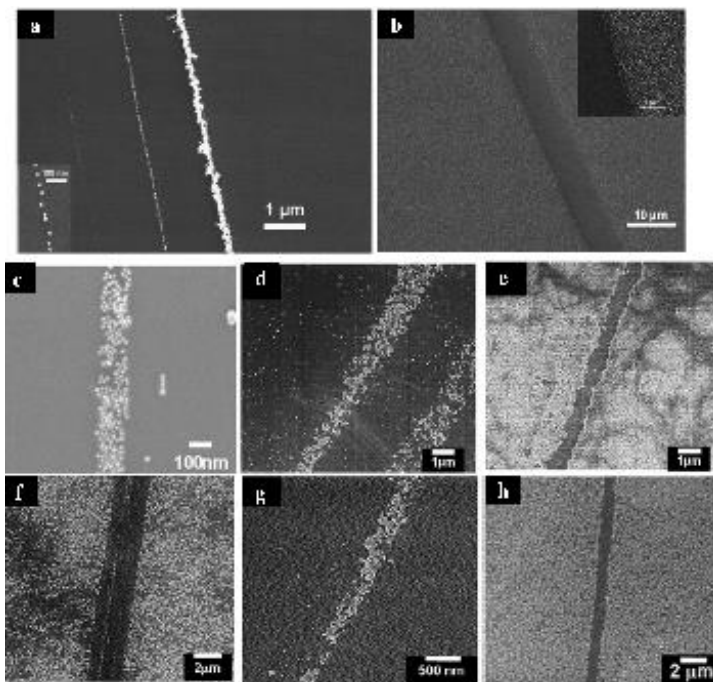
II.2 Deposisi Charged Aerosol Particles pada Treated Substrate

Deposisi partikel merupakan fenomena di mana partikel yang tersuspensi dalam fluida dibawa ke sebuah dinding dan mengontakkan partikel tersebut ke permukaan dinding secara permanen atau sementara. Fenomena ini dapat diaplikasikan ke dalam berbagai macam proses, misalnya deposisi kering partikulat di lingkungan, pengembangan peralatan filtrasi gas, dan deposisi partikel pada peralatan pabrik. (Hiroaki et al., 2006)

Beberapa peneliti terdahulu telah mempelajari pengaruh dari kondisi substrat yang telah dimodifikasi terhadap deposisi *charged aerosol particles*. Mereka memodifikasi substrat secara fisika dan kimia. Dari hasil yang didapat, selektif deposisi pada *surface charged-patterned* dapat dihasilkan dengan cara tersebut, seperti dengan cara kontak langsung, *writing*, *masking*, *photoresist*, dan *etching*.

Selanjutnya manfaat yang didapat dari hasil tersebut dapat dikembangkan di industri semikonduktor, *coating*, dan *electronic devices*. Tanpa memodifikasi *surface* dengan membuat *charged patterned* di atasnya, maka *selective deposition* susah didapatkan, hal ini karena gaya elektrostatis tidak dominan dan juga dipengaruhi oleh gerak Brownian, dan lain-lain. Oleh karena itu suspensi tersebut diatomisasi ke dalam aerosol yang diberi muatan mentransfer nanopartikel ke dalam substrat yang sudah mempunyai *charges-patterned*. Selanjutnya akan meningkatkan gaya tarik mekanik antara partikel bermuatan dengan *charged-patterned surface* karena naiknya gaya Coloumb.

Efek treatment fisik pada *charged aerosol particles* ditunjukkan pada Gambar II.2 di mana partikel terdeposisi pada *surface patterned*. Krinke et al. (2001) melakukan percobaan deposisi Indium pada permukaan datar.



Gambar II.2 Deposisi partikel pada surface charged-patterned

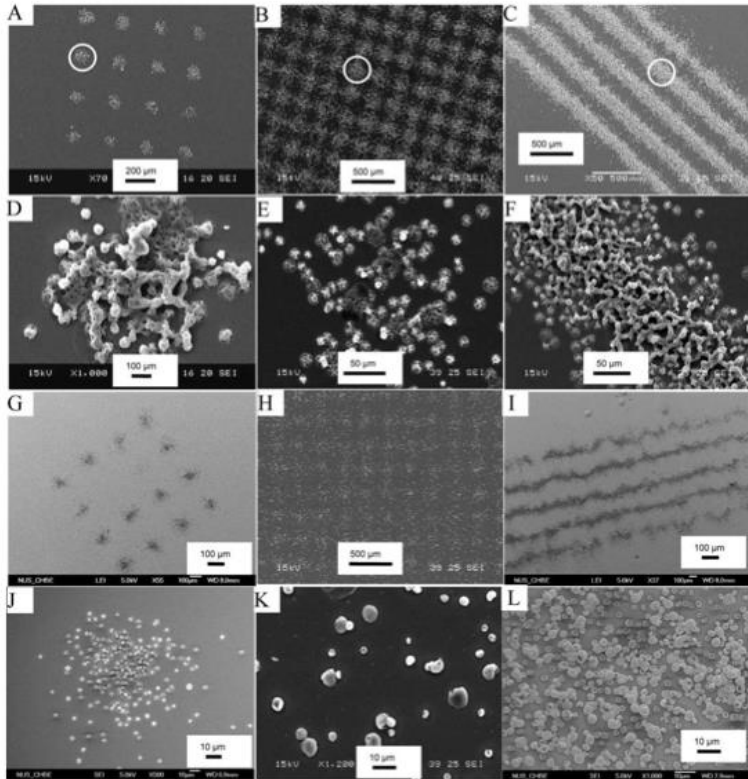
Ket: (a) Deposisi partikel Indium pada garis bermuatan negatif (b) Indium bermuatan negatif diletakkan di atas *treated substrate* (Krinke et al., 2001) (c) Deposisi partikel Au (d) Deposisi partikel SiO₂ tanpa ion Na⁺ (e,f) Deposisi partikel SiO₂ tanpa ion Na⁺ (g,h) Aplikasi deposisi SiO₂ pada *spraying-capillary* dan substrat (Lenggoro et al., 2006)

Gambar II.2 (a) menunjukkan partikel Indium (30 nm) yang bermuatan positif dideposisikan pada sebuah garis bermuatan negatif. Pada Gambar II.2 (b), partikel Indium (30 nm) yang bermuatan negatif diletakkan di atas *treated substrate*. Pada Gambar II.2 (c), partikel Au (20 nm) bermuatan positif dideposisikan pada garis yang bermuatan negatif. Selain itu Lenggoro et al. (2006) juga meneliti deposisi partikel SiO₂ pada *surface charges-patterned* dengan

menggunakan *electrospray*. Mereka menggunakan 2 jenis SiO_2 sebagai *starting material*, yang satu mengandung Na sedang yang lainnya tidak. Gambar II.2 (d) menunjukkan deposisi SiO_2 yang tidak memiliki ion Na^+ . Gambar II.2 (f) menunjukkan SiO_2 yang mengandung ion Na^+ dan pada Gambar II.2 (h) SiO_2 setelah ditambahkan ion Na^+ yang diaplikasikan pada tegangan positif dan negatif masing-masing antara *spraying-capillary* dan substrat. Deposisi SiO_2 yang tidak memiliki ion Na^+ pada Gambar II.2 (e) serta SiO_2 yang mengandung ion Na^+ pada Gambar II.2 (g) yang diaplikasikan pada tegangan positif dan negatif masing-masing antara *spraying-capillary* dan substrat.

Xie et al. (2010) melakukan penelitian untuk menghasilkan pola partikel polimer *biodegradable* pada substrat menggunakan deposisi *electrospray* dengan metode *masking*. Salah satu sampel yang digunakan dalam percobaan ini adalah PLGA.

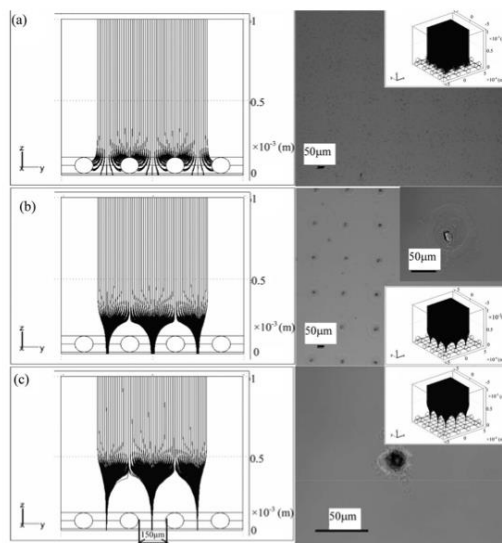
Pada Gambar II.3 merupakan gambar SEM-image dari pola partikel PLGA. Gambar II.3 (A-C) menunjukkan 5% PLGA dalam larutan DCM, gambar tersebut diperjelas dengan menggunakan resolusi yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada Gambar II.3 (D-F). Pelarut organiknya teruapkan sebagian sebelum partikel terdeposisi pada substrat. Gambar II.3 (G-I) menunjukkan SEM-image partikel PLGA dari 10% PLGA dalam larutan asetonitril. Partikel yang berlainan terdapat dalam substrat, hal ini disebabkan penguapan asetonitril yang lebih cepat bila dibandingkan dengan DCM. Dari Gambar II.3 dapat disimpulkan bahwa partikel dapat didesain dengan menggunakan berbagai macam variasi parameter dan sifat larutannya, serta ukuran dari partikelnya. (Xie et al., 2010)



Gambar II.3 Partikel PLGA yang dideposisikan ke substrat (Xie et al., 2010)

Xie et al. (2010) juga membuat simulasi dari percobaan di atas menggunakan software COMSOL 3.3 seperti yang yang ditunjukkan Gambar II.4 yang menunjukkan perhitungan *electrical field* untuk menguji efek dari deposisi tersebut. Gambar tersebut menunjukkan simulasi aliran *electric field* dengan tegangan konstan 7,5 kV yang diaplikasikan ke sebuah nozzle yang diplot terhadap gambar pola PLGA dalam beda potensial antara *mask* dan substrat. Gambar II.4 (a) pada beda potensial = 0V, (b) 500V, dan (c) 2000V. Larutan yang

digunakan pada proses *electrospray* ini adalah 2 % PLGA dalam DMF. Dari Gambar II.4 dapat disimpulkan bahwa dengan menambah beda potensial antara mask dan substrat, efek deposisi dapat terlihat. Tidak ada pola yang terbentuk pada saat beda potensial = 0. Dengan menambah beda potensial V_m , deposisi partikel baru terlihat. (Xie et al., 2010)

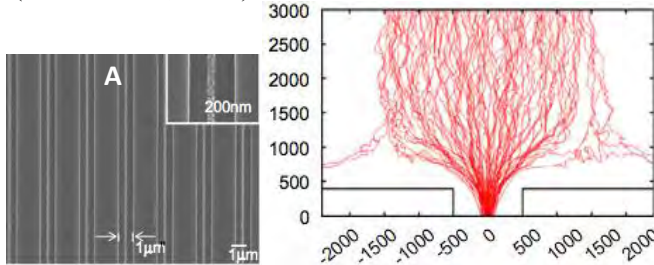


Gambar II.4 Hasil simulasi terhadap hasil percobaan dengan *electrospray* (Xie et al., 2010) Pola PLGA dalam beda potensial antara *mask* dan substrat (a) pada beda potensial = 0V, (b) 500V, dan (c) 2000V

You & Choi (2007) melakukan simulasi gerak mikroskopik dan deposisi dengan menggunakan *electric field*. Gambar II.5 menunjukkan hasil simulasi dengan pola *photoresist*. Simulasi ini kemudian dibandingkan pada eksperimen yang telah dilakukan oleh Kim et al. (2006) mengenai *patterning* menggunakan *charged aerosol* seperti terlihat pada Gambar II.5 (A) di mana partikel berukuran 200

nm yang mengandung partikel 20 nm Ag disusun pada $1\mu\text{m}$ pola garis *photoresist*.

Gambar II.5 (B) merupakan simulasi *pattern profile* dari 10^4 *trajectory single charged* partikel Ag di mana partikel menunjukkan gerak Brownian yang zig-zag pada daerah yang jauh dari permukaan. Namun, partikel Ag tidak menunjukkan gerak Brownian yang zig zag saat mencapai daerah dekat permukaan di mana terdapat daerah yang elektrostatis. Pada daerah yang memiliki pola *photoresist* ini, gerak *electric field-induced* lebih mendominasi daripada gerak Brownian. (You & Choi, 2007)

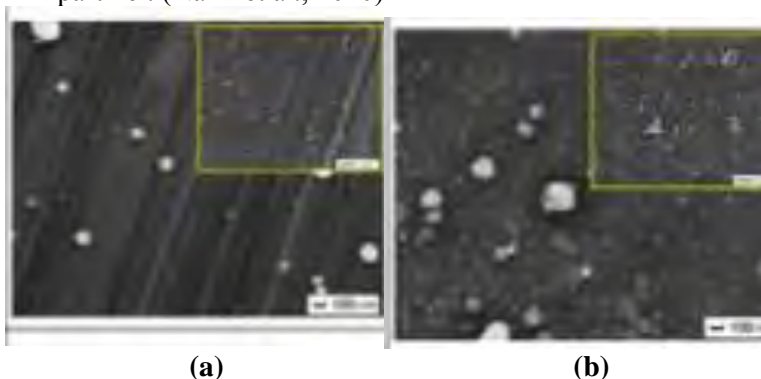


Gambar II.5 SEM-images dari (A) Deposisi partikel dengan injeksi ion (Kim et al., 2006) (B) Particle trajectory deposisi partikel Ag (You & Choi, 2007)

Efek *chemical treatment* pada deposisi aerosol salah satunya ditunjukkan oleh Naim et al. (2010) yaitu dengan memodifikasi substrat aluminium dengan dan *men-treatment* menggunakan natrium hidroksida dan asam fosfat. Dalam penelitian ini, seluruh substrat di-*treatment*, lalu dilakukan deposisi partikel aerosol bermuatan (TiO_2 dengan surfaktan sebagai bahan baku) dengan merotasi substrat.

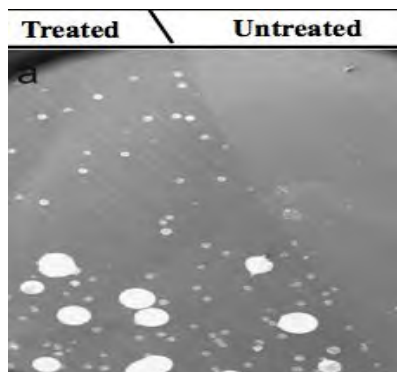
Gambar. II.6 menunjukkan gambar dari deposisi partikel pada *treated* dan *untreated substrate* dengan menggunakan mikroskop FE-SEM, di mana area yang di-*treated* memiliki konsentrasi partikel lebih tinggi dari area *untreated*. Fenomena ini disebabkan beberapa hal, seperti: peningkatan

gaya adhesi deposisi partikel karena meningkatnya interaksi hidrofilik antara surfaktan dan permukaan *treated substrate*. Di sisi lain, kekasaran permukaan *treated substrate* juga memberikan pengaruh pada tingginya konsentrasi deposisi partikel. (Naim et al., 2010)



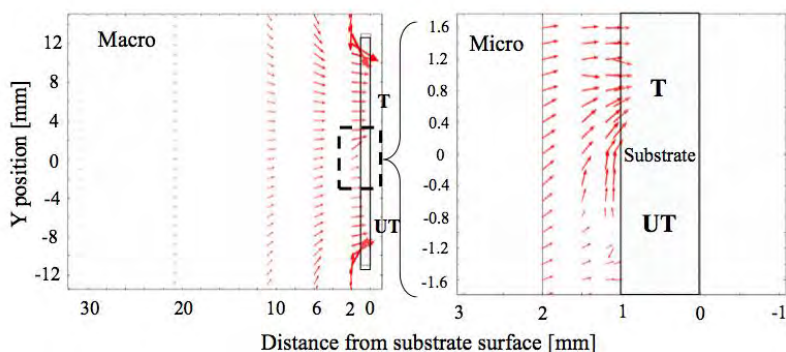
Gambar II.6 FE-SEM Image dari deposisi partikel pada (a) *untreated* dan (b) *treated substrate* yang telah dirotasi (Naim et al., 2010)

Pengaruh dari *chemical treatment* terhadap deposisi *charged aerosol particles* juga diteliti oleh Kusdianto et al. (2014) dengan menggunakan *single substrate* sebagai target deposisi. Tujuannya adalah untuk mengetahui mekanisme deposisi dan juga mengurangi error karena ketidakstabilan generator. Dari hasil percobaan, deposisi partikel pada *treated substrate* lebih efektif bila dibandingkan *untreated substrate* seperti ditunjukkan oleh Gambar II.7. (Kusdianto et al., 2014)



Gambar II.7 Gambar deposisi partikel pada *treated substrate* dan *untreated substrate* (Kusdianto et al., 2014)

Sedangkan dari hasil simulasi percobaan di atas ditunjukkan oleh Gambar II.8. *Electric field pattern* berubah dengan interfase antara 2 area substrat, *charged particle* diharapkan untuk mengikuti *electric field* seiring dengan meningkatnya gaya Coulomb. Perubahan arah *electric field* berhubungan dengan meningkatnya gaya elektrostatis dari *treated area*. Gerak Brownian dapat diabaikan. (Kusdianto, 2014)



Gambar II.8 Simulasi *electric fields* pada substrat dalam ukuran makro (kanan) dan mikro di sekitar *interface* pada daerah *treated* dan *untreated* (kiri) (Kusdianto, 2014)

II.3 Gerak Brownian dan Difusi

Gerak Brownian adalah gerak berkelak-kelok tak beraturan partikel aerosol dalam udara diam yang disebabkan oleh variasi acak dalam tumbukan terus menerus gas molekul melawan partikel. Namun, menurut Lie dan Ahmadi (1992), pada partikel yang berdiameter lebih besar dari 50 nm gerak Brownian dapat diabaikan.

Difusi partikel aerosol mengikuti hukum Ficks I tentang difusi (tanpa gaya eksternal sebagai berikut:

$$J = -D \frac{dn}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

Koefisien difusi partikel aerosol dapat dinyatakan dalam sifat partikel dengan persamaan Stokes-Einstein:

$$D = \frac{KTC_c}{3\pi\eta d} \dots\dots\dots (2.2.a)$$

$$\text{atau } D = kTB \dots\dots\dots (2.2.b)$$

$$\text{di mana } B = \frac{C_c}{3\pi\eta d} \dots\dots\dots (2.3)$$

Konsentrasi partikel sebesar x pada setiap waktu t , $n(x,t)$ harus memenuhi Hukum II Ficks tentang difusi:

$$n(x,t) = \frac{n_0}{(\pi Dt)^{1/2}} \int_0^x \exp\left(-\frac{p^2}{4Dt}\right) dp \dots\dots\dots (2.4)$$

Laju deposisi partikel pada satuan luas permukaan waktu t adalah:

$$J = n_0 \left(\frac{D}{\pi t}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.5)$$

dan jumlah kumulatif partikel yang terdeposisi per satuan luas permukaan selama waktu t :

$$N(t) = \int_0^t \left(\frac{D}{\pi t}\right)^{1/2} dt$$

$$N(t) = 2n_0 \left(\frac{Dt}{\pi}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.6)$$

(Hinds, 1999)

II.4 Persamaan Gerak Partikel untuk Deposisi *Charged Aerosol Particle*

Menurut Lie dan Ahmadi (1992), pada partikel yang

berdiameter lebih besar dari 50 nm gerak Brownian dapat diabaikan. Gerakan dari aerosol bermuatan dalam dapat diprediksi dengan mengintegrasikan *force balance* pada partikel Lagrangian yang berhubungan dengan gaya inersia partikel dengan gaya-gaya yang bekerja pada partikel seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = F_D (v_g - v_p) + F_g + F_x \dots\dots\dots(2.7)$$

di mana m_p adalah massa partikel, t dan v_p adalah waktu dan vektor kecepatan partikel. F_D adalah gaya inersia (*drag force*) yang diberikan oleh

$$F_D = \frac{18 \mu}{d_p^2 \rho_p C_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

di mana μ adalah viskositas gas, d_p adalah diameter partikel, ρ_p adalah densitas partikel, dan C_c adalah Cunningham faktor koreksi (Hinds, 1999).

Gaya gravitasi F_g mempengaruhi gerakan partikel yang dinyatakan dalam persamaan:

$$F_g = \frac{\bar{g}_x (\rho_p - \rho)}{\rho_p} \dots\dots\dots(2.9)$$

(ANSYS, 2009)

Gaya eksternal F_x yang berpengaruh pada persamaan (2.7) adalah menggambarkan *electric force* yang dinyatakan dengan:

$$F_E = q_p \vec{E} \dots\dots\dots(2.10)$$

di mana F_E adalah gaya elektrostatik yang disebabkan oleh muatan partikel (q_p) dan *Electric Field Strength* (E). *Electric field* dapat berubah sesuai dengan fungsi waktu maupun posisi dari partikel.

Besarnya *electric field* dapat dinyatakan berdasarkan nilai voltase atau potensialnya, yang nilainya lebih mudah diukur. Beda potensial ΔW antara dua titik dapat didefinisikan sebagai kerja yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan pada dua titik pada setiap perubahan posisi/jarak

(Δx) yang dinyatakan dengan:

$$E = \frac{\Delta W}{\Delta x} \dots\dots\dots (2.11)$$

(Hinds, 1999)

II.5 CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD (Computational Fluid Dynamics) adalah teknik numerik untuk penyelesaian persamaan pengaturan aliran fluida didalam aliran fluida tertentu. Aliran fluida dapat digambarkan dengan menggunakan persamaan Navier's Stoke. Persamaan ini diturunkan dengan mempertimbangkan kesetimbangan massa, momentum, dan energi di dalam elemen fluida, menghasilkan sejumlah penurunan persamaan parsial. Persamaan ini dilengkapi dengan menambahkan persamaan aljabar lain dari termodinamika seperti persamaan keadaan untuk massa jenis dan persamaan pokok untuk menjelaskan reologi.

Kode CFD tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor* (HK. Versteeg, 2007).

Pre-processing meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh solver. Langkah-langkah dalam tahap ini:

- Pendefinisian geometri yang dianalisa.
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih.
- Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berimpit dengan batas domain.
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur, dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam tiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid.

Secara umum metode numerik solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi terhadap semua persamaan yang terlibat menjadi sistem persamaan aljabar.
- Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

Post-processing merupakan tahap visualisasi dari hasil tahapan sebelumnya. *Post-processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain :

- Domain geometri dan *display*.
- Plot vektor.
- Plot kontur.
- Plot 2D dan 3D *surface*.
- Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, skala, dan sebagainya)
- Animasi *display* hasil dinamik.

II.6 *Discrete Phase Model (DPM)* pada CFD

Pada *Discrete Phase Model*, *particle trajectory* yang dihitung (partikel, bubble, dan droplet) dalam bentuk Lagrangian. Di mana setiap *trajectory* merepresentasikan grup partikel dengan *initial properties* yang sama.

Ruang lingkup dari *Discrete Phase Model* sebagai berikut:

- *Flow regime* : bubbly flow, droplet flow, particle-laden flow
- Fraksi volume : encer (kurang dari 12%)
- Muatan partikel : rendah sampai sedang
- Model turbulensi : rendah sampai tinggi

Discrete Phase Model dapat diaplikasikan pada:

- Spray dryers
- Cyclone

- Klasifikasi dan pemisahan partikel
- Dispersi aerosol
- Liquid fuel
- Pembakaran batu bara

Halaman ini sengaja dikosongkan

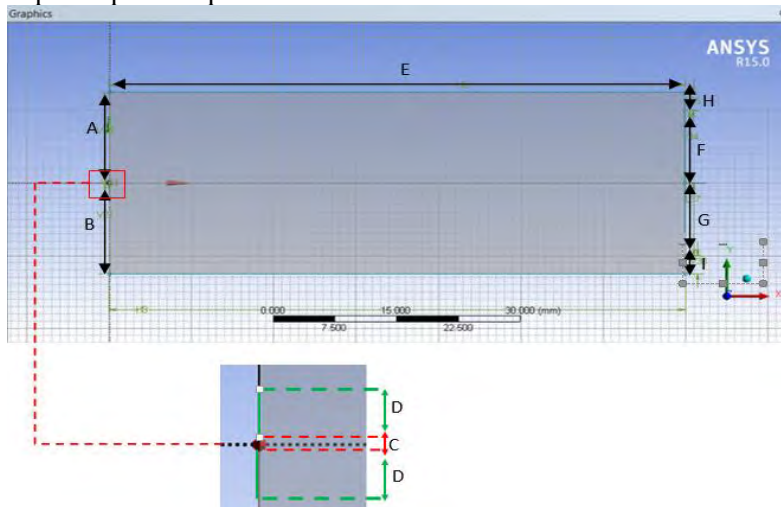
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software ANSYS® 15 Academic Package. Untuk permodelan geometri digunakan Design Modeler® dengan penentuan ukuran desain kondisi proses menggunakan Meshing®. Perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®. Dengan permodelan *Langrangian Discrete Phase Model (DPM)*. Untuk permodelan persamaan arus listrik dan muatan digunakan bantuan fungsi *User Define Function (UDF)* dari FLUENT. UDF adalah fungsi yang membantu untuk memasukkan persamaan-persamaan yang tidak ada pada software ANSYS®.

III.1 Sistem yang Dipelajari

Gambar III.1 menunjukkan gambar dua dimensi simulasi deposisi partikel pada treated substrat.



Gambar III.1 Dimensi simulasi *particle trajectory* dari deposisi *charged aerosol particle* pada *single treated substrate*

Tabel III.1 Keterangan dari dimensi untuk simulasi deposisi *charged particle*

No.	Dimensi	Keterangan	Ukuran
1.	A	Dinding	14 mm
2.	B	Dinding	14 mm
3.	C	Nozzle Partikel	0.1 mm
4.	D	Nozzle Gas	2 mm
5.	E	Dinding	70 mm
6.	F	Treated Substrate	12.5 mm
7.	G	Untreated Substrate	12.5 mm
8.	H	Outflow	2.5 mm
9.	I	Outflow	2.5 mm

III.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Charged Aerosol Particle* dan *treated substrate*. Komponen *Particle* merupakan partikel SiO_2 dengan *Carrier gas* yaitu CO_2 . Bahan dari substrat yaitu metal aluminium.

III.3 Permodelan

1. Permodelan Laminar

Permodelan yang digunakan adalah laminar. Model ini digunakan karena lebih sesuai dengan proses deposisi partikel. Model laminar didasarkan pada konsep viskositas laminar, hal ini sesuai dengan konsentrasi partikel dalam aerosol yang rendah.

2. *Discrete Phase Model*

Permodelan ini merupakan Lagrangian Model yang mengikuti pendekatan Euler-Lagrange. Fasa fluida diperlakukan sebagai kontinum yang memecahkan persamaan Navier-Stokes, sedangkan fase terdispersi diselesaikan dengan menghitung sejumlah besar partikel, gelembung, atau tetesan melalui medan aliran dihitung. Permodelan ini dapat

bertukar momentum, massa, dan energi dengan fase cairan. Asumsi dasar yang dibuat dalam model ini adalah bahwa fase kedua tersebar menempati fraksi volume rendah. Partikel atau tetesan dihitung secara individual pada selang waktu tertentu selama perhitungan fase cairan. Hal ini membuat permodelan ini sesuai untuk pemodelan spray dryer, batubara dan pembakaran bahan bakar cair, dan beberapa aliran partikel bermuatan.

3. Injeksi

Menggunakan tipe partikel inert karena partikel yang diinjeksikan merupakan partikel inert yang tidak mengalami reaksi dengan fluida gas pembawa. Pada simulasi ini digunakan tipe injeksi group. Tipe *Group* ini digunakan karena dapat menentukan jumlah partikel yang dimasukkan.

4. *Include UDF*

Menggunakan bantuan dari program UDF pada FLUENT untuk memasukkan rumus gaya elektrik dalam bentuk program C++. Selanjutnya program tersebut akan menjadi perintah yang mengatur *body force* partikel.

III.4 Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Nozzle partikel sebagai *inlet* partikel.
2. Nozzle gas sebagai *velocity inlet* gas.
3. Substrate sebagai wall yang bersifat trap.
4. Outflow sebagai aliran gas keluar bersifat escape.
5. Bagian dinding dianggap sebagai wall yang bersifat reflect.

III.5 Prosedur Simulasi

Untuk mempelajari analisa gerak partikel bermuatan terhadap beda muatan pada treated substrat, dan kecepatan aliran deposisi partikel, maka dilakukan penelitian secara simulasi dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Langkah-langkah yang dilakukan meliputi:

- a. Membuat model geometri dengan menggunakan Design Modeler[®].
- b. Membuat grid menggunakan Meshing[®].
- c. Mengimpor grid ke dalam FLUENT dan memeriksa Grid tersebut.
- d. Memilih formulasi solver, mengaktifkan *Langrangian model* dan *Discrete Phase Model*.
- e. Menggunakan fungsi *User Defined Model* (UDF) dengan memasukkan persamaan *electric force* pada *charged particle*.
- f. Menentukan material, kondisi operasi, dan parameter.
- g. Perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT[®].
- h. Selanjutnya penyelesaian hasil yang diamati dalam proses deposisi partikel pada *treated substrate*.

III.6 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Muatan pada partikel, substrat, dan nozzle.
2. Flowrate partikel dan flowrate gas.
3. Diameter partikel.
4. Jarak antara nozzle dengan substrat.
5. Ukuran outflow.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Permodelan Simulasi Deposisi Partikel Pada CFD FLUENT

Pada simulasi CFD FLUENT ini menggunakan sistem kerja 2D planar. Dengan menggunakan sistem waktu yaitu *steady*. Untuk permodelan menggunakan *Langrangian Discrete Phase Model (DPM)* yaitu untuk mensimulasikan partikel yang disemprotkan melalui nozzle menuju substrate. Dengan pemilihan kondisi jenis aliran laminar, dipilih karena menunjukkan profil aliran yang relatif stabil. (Ansys Fluent Theory Guide, 2013)

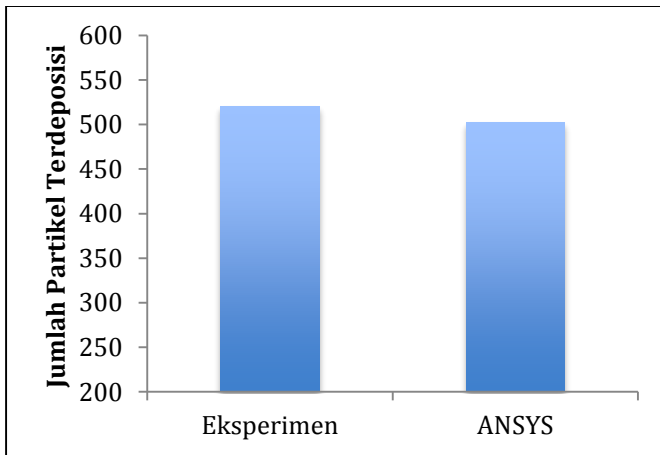
Partikel yang digunakan pada proses deposisi *charged aerosol* partikel dalam simulasi ini adalah partikel SiO_2 , dengan *carrier gas* yaitu CO_2 , dan Al (Aluminium) sebagai bahan dari substrate. Proses deposisi tekanan operasi 1 atm dan suhu 25°C . Partikel dianggap pada kondisi *dry*. Tujuan dibuat pada kondisi *dry* partikel agar *substrate* tidak rusak akibat dari *droplet* yang masih memiliki diameter cukup besar. (Kusdianto, 2014)

IV.2 Validasi Hasil Eksperimen dengan Simulasi

Validasi terhadap simulasi ini perlu dilakukan untuk memastikan apakah pemodelan yang digunakan telah sesuai dengan hasil eksperimen. Pada simulasi ini, hasil simulasi disesuaikan dan divalidasi dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Kusdianto (2014).

Eksperimen dilakukan untuk mendeposisikan partikel pada *flat surface* dengan menggunakan level hidrofilik yang berbeda. Pemodelan dalam simulasi ini disesuaikan dengan kondisi operasi eksperimen di mana partikel yang digunakan adalah partikel SiO_2 berukuran 70-120 nm. Partikel tersebut disuspensikan dengan AgNO_3 . Lembaran aluminium digunakan sebagai substrat (*flat surface*) di

mana sebagian aluminium dicelupkan ke dalam larutan H_3PO_4 0,1M (*chemical treatment*). Potensial elektrik pada bagian tersebut (*treated area*) sebesar -590 mV sedangkan pada bagian yang tidak dicelupkan dalam larutan H_3PO_4 0,1M (*untreated area*) sebesar -260 mV. *Power supply* memiliki potensial elektrik sebesar +3 kV. (Kusdianto, 2014)



Gambar IV.1 Validasi hasil simulasi terhadap eksperimen Kusdianto (2014)

Gambar IV.1 di atas menunjukkan perbandingan deposisi partikel hasil eksperimen dengan simulasi di mana pada eksperimen didapatkan bahwa jumlah partikel yang terdeposisi di *treated area* dan *untreated area* sebesar 520. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan jumlah partikel terdeposisi sebesar 502. Deviasi antara hasil simulasi terhadap eksperimen sebesar 3,46%. Simulasi ini memiliki error yang kecil sehingga simulasi ini masih cukup valid digunakan untuk simulasi deposisi partikel.

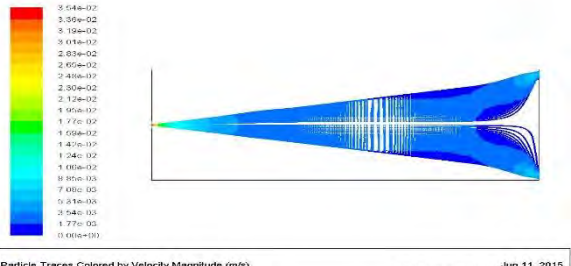
IV.3 Pengaruh Adanya *Electric Force* Terhadap Hasil Simulasi

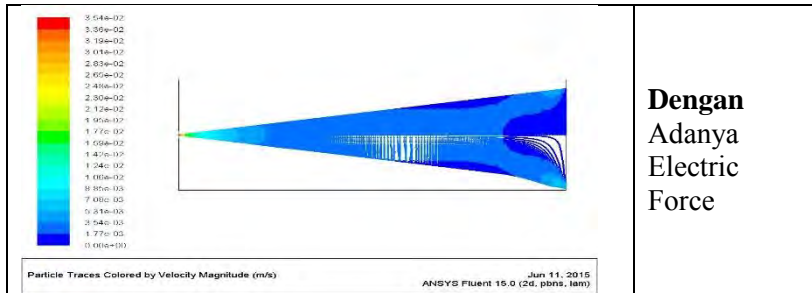
IV.3.1 Pengaruh Adanya *Electric Force* Terhadap Gerakan Partikel

Berdasarkan berbagai gaya yang bekerja pada partikel seperti gaya drag dan gaya gravitasi, maka gaya elektrik atau yang biasa disebut *electrical force* merupakan gaya yang sangat berpengaruh dalam proses deposisi partikel. Dalam aplikasi di industri, gaya *electric force* ini sangat membantu untuk mempermudah dalam deposisi partikel sehingga tepat sasaran. Oleh karena itu, dalam simulasi dengan CFD FLUENT ini akan diteliti mengenai pengaruh *electric force* terhadap gerakan partikel yang mempengaruhi proses deposisi partikel. Sehingga dapat diketahui pola aliran lintasan dari partikel bermuatan menuju substrate.

Untuk mendukung kondisi diatas, maka diatur kondisi batas yakni partikel yang diberi muatan sebesar $3.88.10^{-15}$ C, nozzle bermuatan 3000 V, substrate yang terbagi menjadi dua yakni treated substrate dengan muatan -590 mV dan untreated substrate dengan muatan yang lebih kecil yaitu -260 mV. Selanjutnya akan dibandingkan hasil simulasi antara dua kondisi, yaitu kondisi tanpa *electric force* dan kondisi dengan pengaruh *electric force*.

Tabel. IV.1 Perbandingan gambar profil deposisi partikel

Gambar Profil Aliran	Keterangan
	<p>Tanpa Adanya Electric Force</p>



Dari **Tabel IV.1** dapat terlihat perbedaan profil gerakan partikel antara dua kondisi yaitu dengan *electric force* dan tanpa *electric force*. Pada kondisi tanpa *electric force* terlihat profil gerakan partikel yang lebih banyak terikut keluar bersama gas melalui outflow. Sedangkan pada kondisi dengan *electric force* terlihat profil gerakan partikel yang terdeposisi menuju substrate, dan pada treated substrate terlihat banyak partikel yang terdeposisi dibandingkan pada area untreated. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya *electric force* maka gerakan partikel akan lebih terarah pada substrat, dan perbedaan muatan pada substrate akan mempengaruhi gerakan partikel.

IV.3.2 Pengaruh Adanya *Electric Force* Terhadap Jumlah Partikel Terdeposisi

Dalam simulasi dengan CFD FLUENT ini juga akan diamati mengenai pengaruh *electric force* terhadap jumlah partikel yang terdeposisi. Sehingga dapat diperoleh kondisi optimum untuk proses pendeposisian partikel yang mendukung perkembangan teknologi industri.

Tabel. IV.2 Perbandingan deposisi partikel

Keterangan	Tanpa Adanya Electric Force	Dengan Adanya Electric Force
Partikel Terdeposisi pada Treated Substrate	4	490
Partikel Terdeposisi pada Untreated Substrate	4	8
Partikel Tidak Terdeposisi	492	2

Dari **Tabel IV.2** diatas terlihat bahwa pengaruh adanya *electric force* terhadap deposisi partikel sangat signifikan. Pada kondisi tanpa adanya *electric force* terlihat jumlah total partikel yang terdeposisi yaitu hanya 8 partikel dari total 500 partikel yang disemprotkan oleh nozzle. Sedangkan pada kondisi dengan adanya *electric force* terlihat jumlah total partikel yang terdeposisi yaitu sebanyak 498 partikel dari total 500 partikel yang disemprotkan oleh nozzle. Dengan data 490 partikel terdeposisi pada treated substrate, dan 8 partikel terdeposisi pada untreated substrate. Hal ini menunjukkan dengan adanya muatan yang diberikan pada partikel dan substrate yang kemudian akan menghasilkan *electric force*, maka akan sangat berpengaruh pada pola alir lintasan partikel dan jumlah dari proses deposisi partikel.

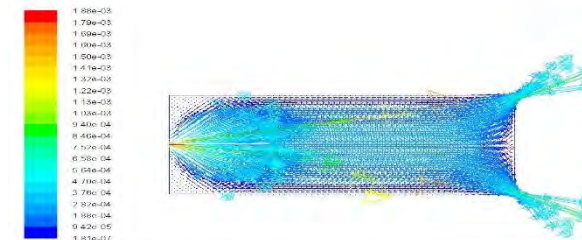
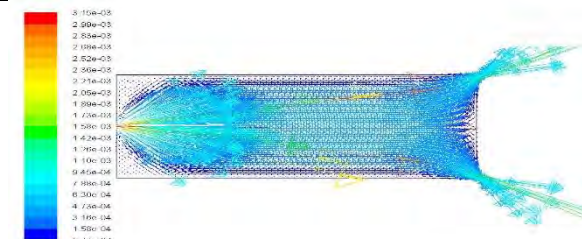
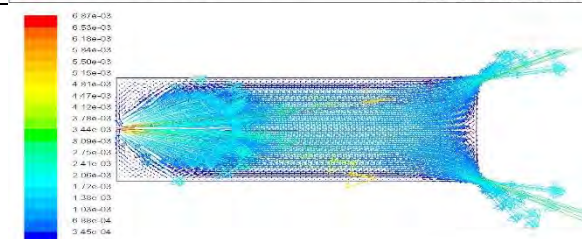
IV.4. Pengaruh Variabel Flowrate Terhadap Hasil Simulasi

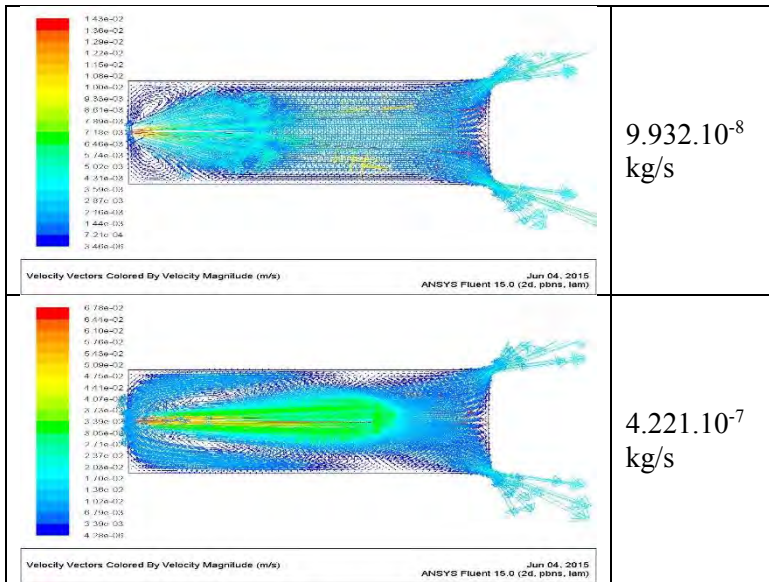
IV.4.1 Pengaruh Variabel Flowrate Gas

Pada simulasi dengan CFD FLUENT ini digunakan variasi variabel flowrate gas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil simulasi. Flowrate gas yang divariasikan yaitu $1.242 \cdot 10^{-8}$, $2.483 \cdot 10^{-8}$, $4.966 \cdot 10^{-8}$, $9.932 \cdot 10^{-8}$, dan $4.221 \cdot 10^{-7}$ kg/s. Laju alir gas ini disemprotkan melalui nozzle gas berukuran diameter 2 mm.

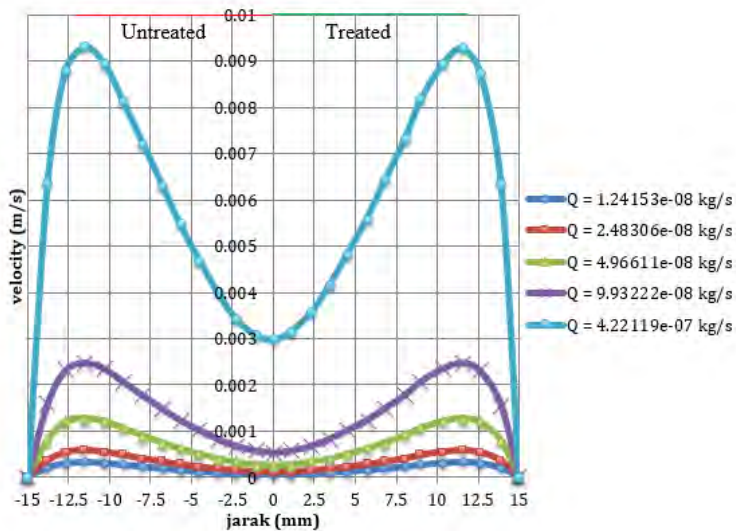
Sedangkan variabel lainnya dianggap tetap. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum yang dihasilkan dari hasil variasi flowrate gas.

Tabel. IV.3 Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel flowrate gas

Gambar Profil Aliran	Flowrate Gas
 <p>Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)</p> <p>Jun 04, 2015 ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, lam)</p>	$1.242 \cdot 10^{-8}$ kg/s
 <p>Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)</p> <p>Jun 04, 2015 ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, lam)</p>	$2.483 \cdot 10^{-8}$ kg/s
 <p>Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)</p> <p>Jun 04, 2015 ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, lam)</p>	$4.966 \cdot 10^{-8}$ kg/s

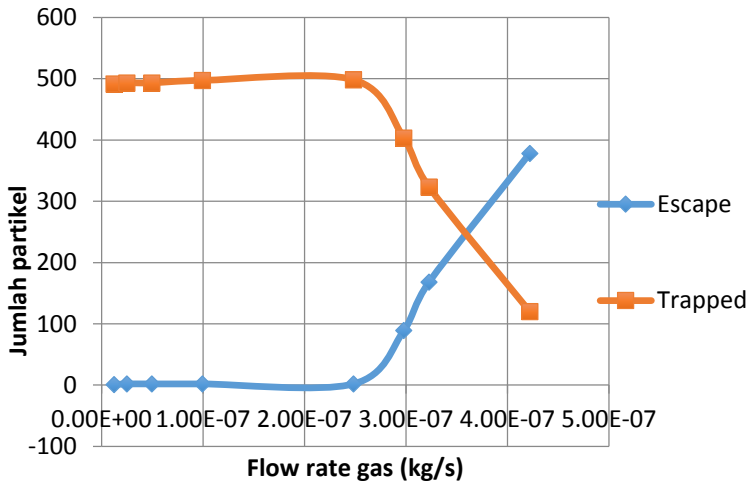


Dari **Tabel IV.3** dapat terlihat bahwa profil aliran aerosol pada flowrate gas $1.242 \cdot 10^{-8}$, $2.483 \cdot 10^{-8}$, $4.966 \cdot 10^{-8}$, dan $9.932 \cdot 10^{-8}$ kg/s memiliki profil aliran stabil yaitu kondisi laminar. Sedangkan terjadi perubahan kondisi profil aliran menjadi turbulensi ketika flowrate gas sebesar $4.221 \cdot 10^{-7}$ kg/s. Turbulensi ini dapat mengakibatkan gangguan pada profil pola alir lintasan partikel dan proses deposisi partikel terhadap substrate.



Gambar IV.2 Pengaruh variabel flowrate gas terhadap velocity aerosol

Pada **Gambar IV.2** diatas dapat dilihat bahwa pada flowrate gas $1.242 \cdot 10^{-8}$, $2.483 \cdot 10^{-8}$, $4.966 \cdot 10^{-8}$, dan $9.932 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$ memiliki profil velocity yang tidak terlalu signifikan antara titik yang menuju substrate dibanding menuju outflow. Hal ini dianggap kondisi terbaik dibandingkan dengan profil velocity dari flowrate gas $4.221 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s}$, karena terlihat perbedaan profil velocity yang tajam antara titik yang menuju substrate dengan outflow. Perbedaan profil velocity yang tajam antara titik menuju substrate dengan outflow yang dapat mengakibatkan mudah terikutnya partikel menuju outflow dibanding menuju substrate.



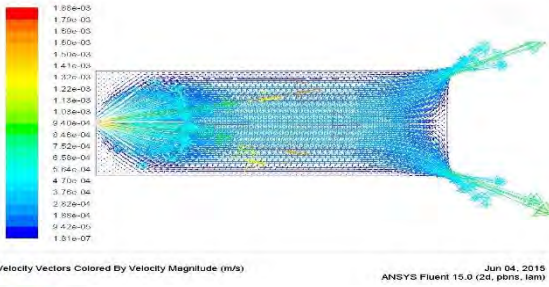
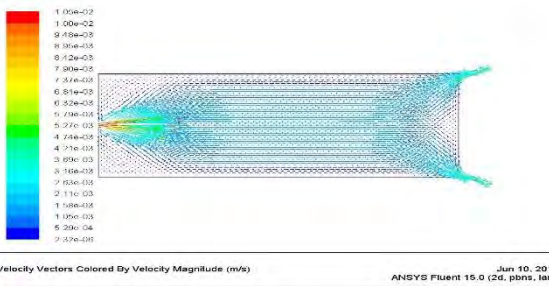
Gambar IV.3 Pengaruh variabel flowrate gas terhadap deposisi partikel

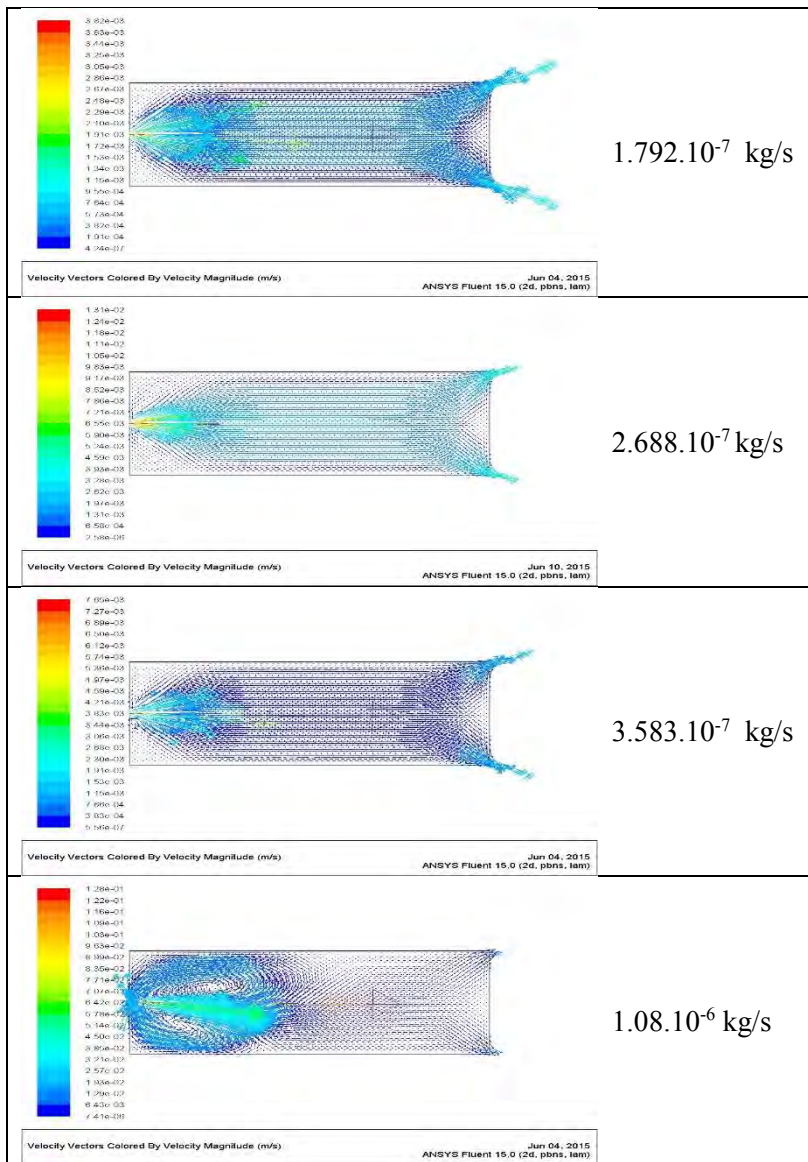
Pada **Gambar IV.3** diatas dapat dilihat bahwa pada flowrate $1.242 \cdot 10^{-8}$ kg/s hingga $9.932 \cdot 10^{-8}$ kg/s mengalami kenaikan jumlah partikel yang terdeposisi. Sedangkan antara flowrate gas $9.932 \cdot 10^{-8}$ kg/s menuju $4.221 \cdot 10^{-7}$ kg/s memiliki penurunan tajam jumlah partikel yang terdeposisi. Hal ini dapat diakibatkan karena adanya turbulensi pada profil aliran aerosol dengan nilai flowrate gas $4.221 \cdot 10^{-7}$ kg/s, sehingga memungkinkan partikel lebih terikut bersama fluida gas menuju outflow. Sehingga dapat disimpulkan bahwa flowrate gas optimum yaitu $9.932 \cdot 10^{-8}$ kg/s dengan diperolehnya 497 partikel terdeposisi dari 500 partikel yang disemprotkan nozzle. Serta untuk menghindari profil aliran turbulensi, profil velocity yang tajam antara titik menuju substrate dengan outflow, dan jumlah partikel terdeposisi yang mengalami penurunan dengan tajam.

IV.4.2 Pengaruh Variabel Flowrate Partikel

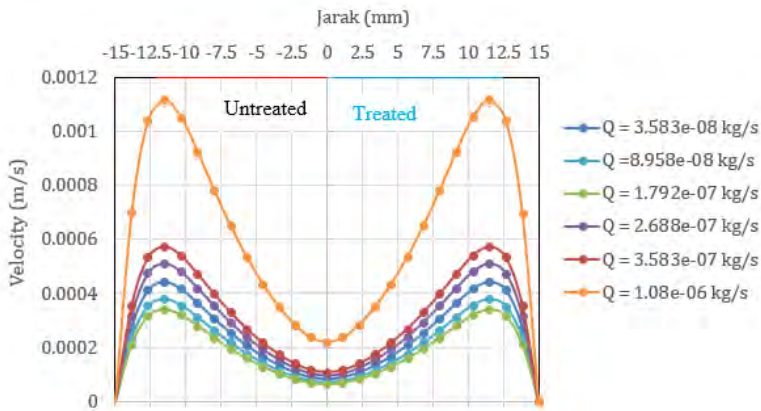
Pada simulasi dengan CFD FLUENT ini digunakan variasi variabel flowrate partikel untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil simulasi. Flowrate partikel yang divariasikan yaitu $3.583.10^{-8}$ kg/s, $8.958.10^{-8}$ kg/s, $1.792.10^{-7}$ kg/s, $2.688.10^{-7}$ kg/s, $3.583.10^{-7}$ kg/s, dan $1.08.10^{-6}$ kg/s. Laju alir partikel ini disemprotkan melalui nozzle partikel dengan ukuran diameter 0.1 mm. Sedangkan variabel lainnya dianggap tetap. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum yang dihasilkan dari hasil variasi flowrate partikel.

Tabel. IV.4 Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel flowrate partikel

Gambar Profil Aliran		Flowrate Partikel
		$3.583.10^{-8}$ kg/s
		$8.958.10^{-8}$ kg/s

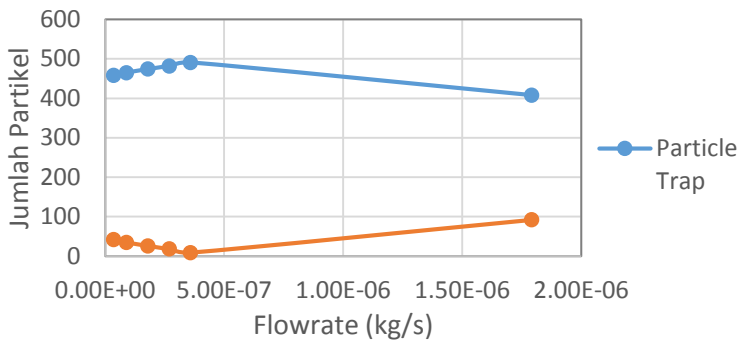


Dari **Tabel IV.4** dapat terlihat bahwa profil aliran aerosol pada flowrate partikel $3.583 \cdot 10^{-8}$ kg/s, $8.958 \cdot 10^{-8}$ kg/s, $1.792 \cdot 10^{-7}$ kg/s, $2.688 \cdot 10^{-7}$ kg/s, dan $3.583 \cdot 10^{-7}$ kg/s memiliki profil aliran stabil yakni kondisi laminar. Sedangkan terjadi perubahan kondisi profil aliran menjadi turbulensi ketika flowrate partikel sebesar $1.08 \cdot 10^{-6}$ kg/s dan terlihat adanya aliran balik partikel. Adanya aliran balik partikel akan menghambat proses deposisi partikel terhadap substrate.



Gambar IV.4 Pengaruh variabel flowrate partikel terhadap velocity aerosol

Pada **Gambar IV.4** diatas dapat dilihat bahwa pada flowrate partikel $3.583 \cdot 10^{-8}$ kg/s, $8.958 \cdot 10^{-8}$ kg/s, $1.792 \cdot 10^{-7}$ kg/s, $2.688 \cdot 10^{-7}$ kg/s, dan $3.583 \cdot 10^{-7}$ kg/s memiliki profil velocity yang cukup stabil dimana profil velocity antara titik yang menuju substrate dibanding menuju outflow tidak berbanding jauh. Namun untuk profil velocity dari flowrate partikel $1.08 \cdot 10^{-6}$ kg/s, sudah terlihat perbedaan profil velocity yang tajam antara titik yang menuju substrate dengan outflow



Gambar IV.5 Pengaruh variabel flowrate partikel terhadap deposisi partikel

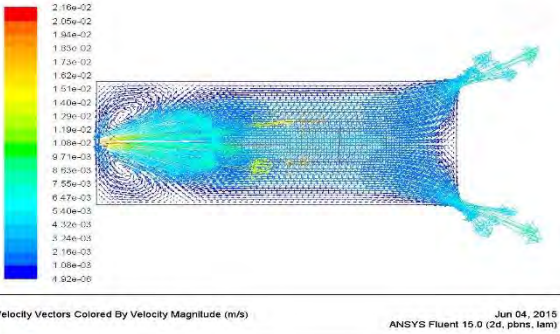
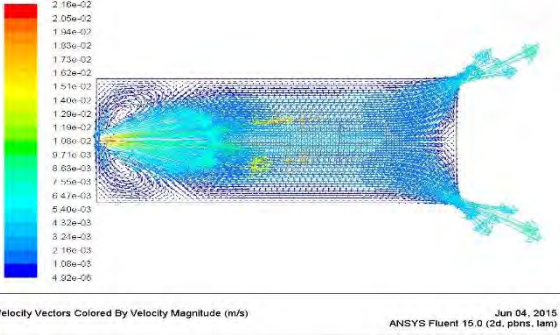
Pada **Gambar IV.5** diatas dapat dilihat bahwa pada flowrate partikel $3.583 \cdot 10^{-8}$ kg/s hingga $3.583 \cdot 10^{-7}$ kg/s mengalami kenaikan jumlah partikel yang terdeposisi. Sedangkan antara flowrate partikel $3.583 \cdot 10^{-7}$ kg/s menuju $1.08 \cdot 10^{-6}$ kg/s mengalami penurunan jumlah partikel yang terdeposisi. Hal ini dapat diakibatkan karena adanya turbulensi pada profil aliran aerosol dengan nilai flowrate partikel $1.08 \cdot 10^{-6}$ kg/s, sehingga memungkinkan partikel lebih terikut bersama fluida gas menuju outflow. Sehingga dapat disimpulkan bahwa flowrate partikel optimum yaitu $3.583 \cdot 10^{-7}$ kg/s dengan jumlah partikel terdeposisi sebanyak 491 dari 500 partikel yang disemprotkan nozzle. Kondisi ini dipilih untuk menghindari perbedaan profil aliran turbulensi, profil velocity yang tajam antara titik menuju substrate dengan outflow, dan jumlah partikel terdeposisi yang mengalami penurunan.

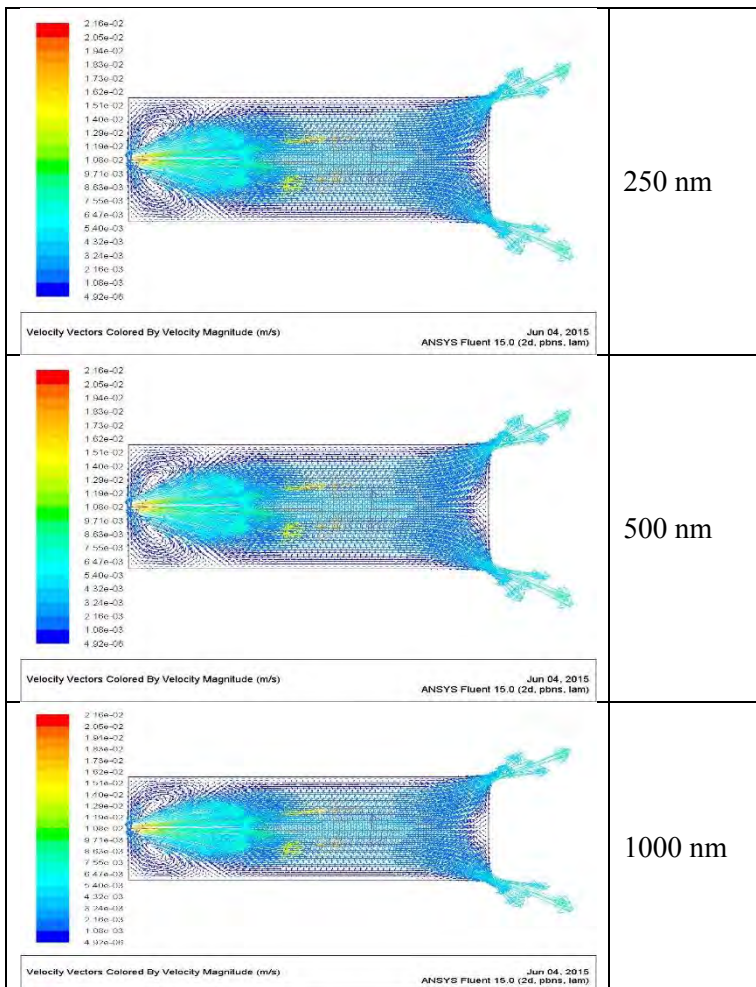
IV.5 Perbandingan Ukuran Diameter Partikel Terhadap Hasil Simulasi

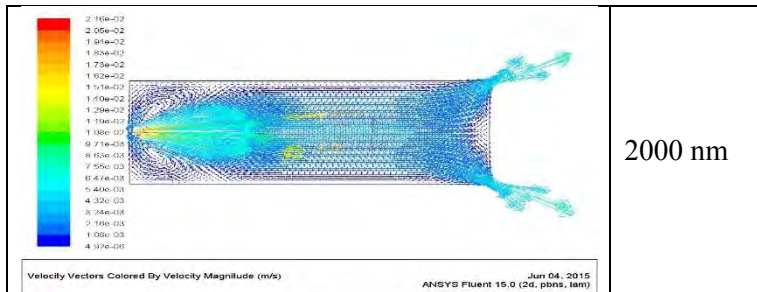
Pada simulasi dengan CFD FLUENT ini digunakan variasi variabel diameter partikel untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil simulasi. Diameter

partikel yang divariasikan yaitu 70 nm, 100 nm, 250 nm, 500 nm, 1000 nm, dan 2000 nm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui velocity dari aerosol sehingga diperoleh profil diameter terbaik dari proses simulasi ini.

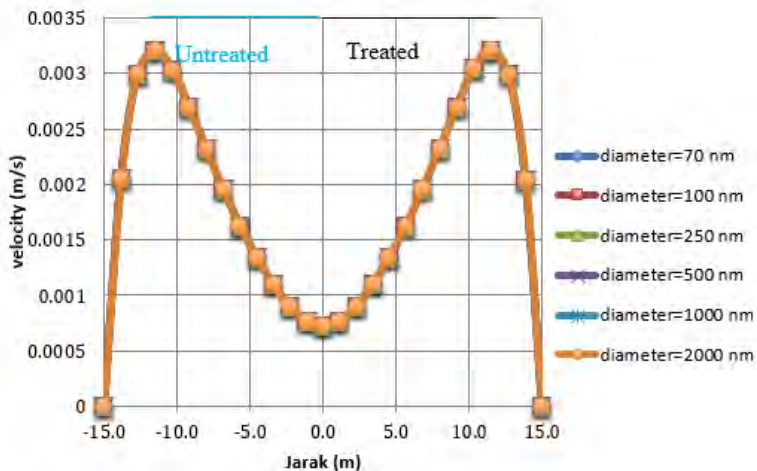
Tabel IV.5 Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel diameter partikel

Gambar Profil Aliran	Diameter Partikel
	70 nm
	100 nm





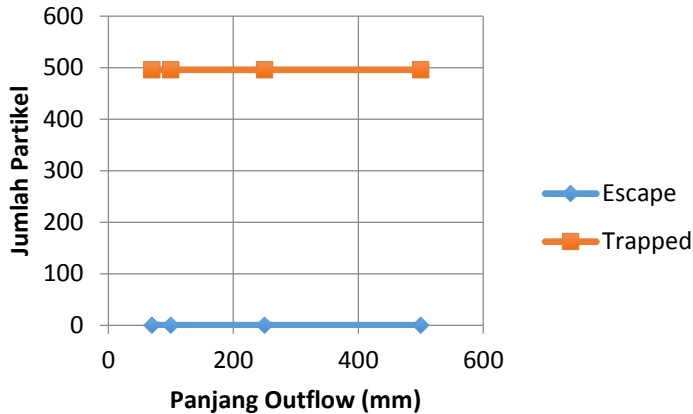
Dari **Tabel IV.5** dapat terlihat bahwa aliran fluida pada diameter 70 nm, 100 nm, 250 nm, 500 nm, 1000 nm, dan 2000 nm memiliki profil vektor aliran yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa diameter partikel yang diinjeksi tidak mempengaruhi vektor aliran aerosol.



Gambar IV.6 Perbandingan diameter partikel terhadap velocity aerosol

Dari **Gambar IV.6** terlihat bahwa partikel yang diinjeksikan dengan diameter 70 nm, 100 nm, 250 nm, 500 nm, 1000 nm, dan 2000 nm memiliki velocity yang sama.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa diameter partikel yang diinjeksikan tidak memengaruhi velocity aerosol.



Gambar IV.7 Pengaruh variabel diameter partikel terhadap deposisi partikel

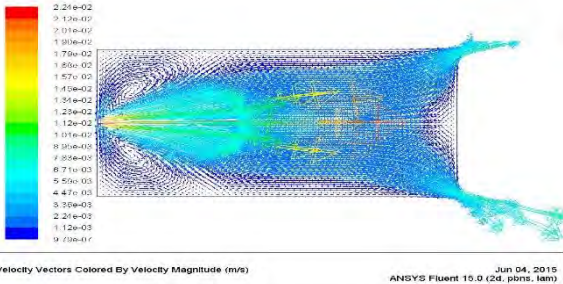
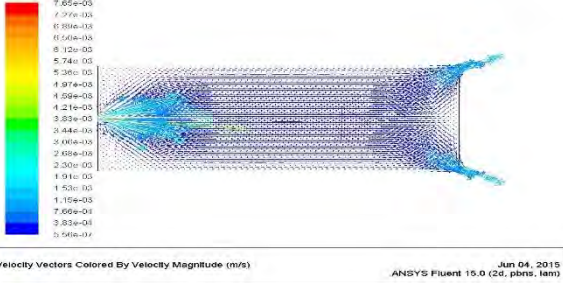
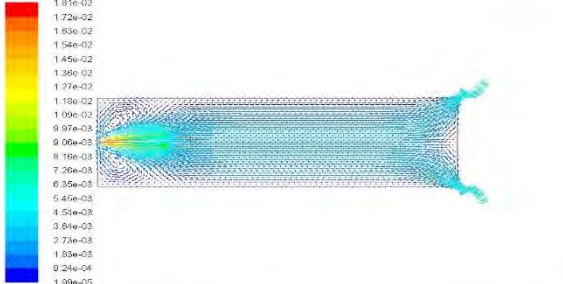
Dari **Gambar IV.7** terlihat bahwa jumlah partikel yang terdeposisi konstan sebanyak 496 pada variabel diameter 70 nm, 100 nm, 250 nm, 500 nm, 1000 nm, dan 2000 nm. Sehingga diameter partikel yang diinjeksikan tidak memengaruhi jumlah partikel yang terdeposisi. Hal ini dikarenakan *volume fraction* diameter partikel terbesarpun masih sangat kecil yaitu 0.000423%. Diameter partikel akan mempengaruhi fluida apabila *volume fraction* partikel mencapai 10%.

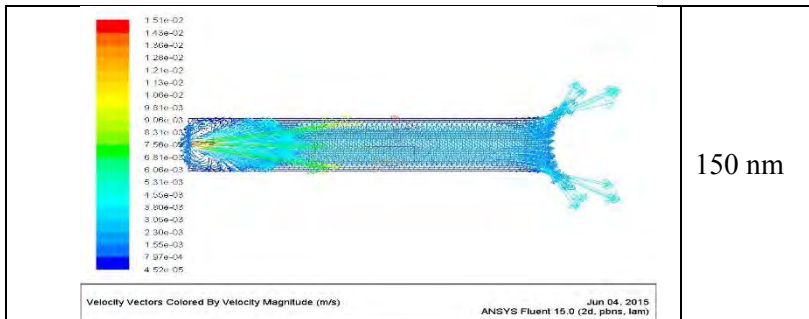
IV.6 Perbandingan Jarak Antara Nozzle dan Substrat Terhadap Hasil Simulasi

Pada simulasi dengan CFD FLUENT ini digunakan variasi variabel jarak antara nozzle dengan substrat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil simulasi. Partikel diinjeksikan pada jarak 50 mm, 70 mm, 100 mm, dan 150 mm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui

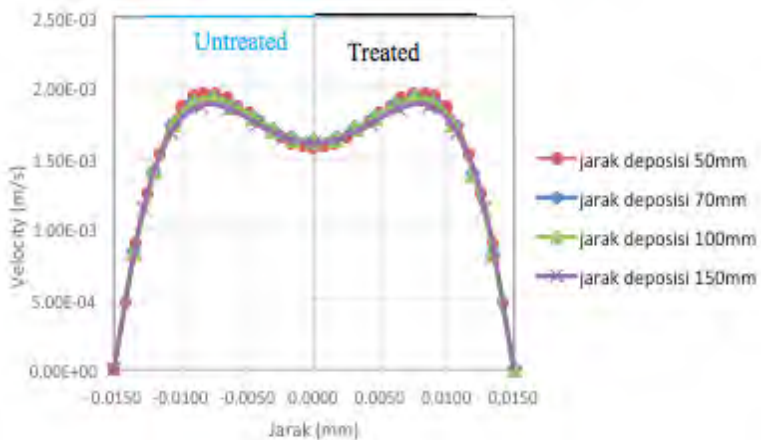
profil velocity dari aerosol sehingga diperoleh profil jarak optimal dari proses simulasi ini.

Tabel IV.6 Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel jarak

Gambar Profil Aliran	Jarak
	50 mm
	70 mm
	100 mm

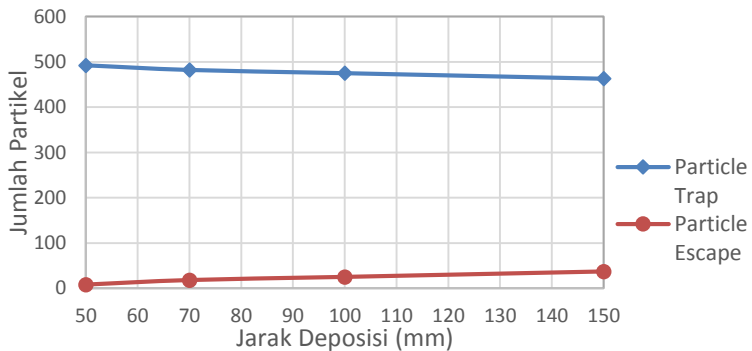


Dari **Tabel IV.6** dapat terlihat bahwa jarak antara nozzle dengan substrat sebesar 50 mm, 70 mm, 100 mm, dan 150 mm memiliki aliran laminar. Sedangkan jarak 150 mm aliran menjadi turbulen. Hal ini menunjukkan kondisi optimum yaitu dibawah panjang 150 mm untuk menghindari turbulensi yang dapat mengakibatkan gangguan pada proses deposisi partikel terhadap substrate.



Gambar IV.8 Perbandingan jarak antara nozzle dan substrat terhadap velocity aerosol

Dari **Gambar IV.8** terlihat bahwa jarak antara nozzle dan substrat terhadap velocity partikel memiliki pengaruh yang tidak signifikan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar IV.8 di mana velocity aerosol pada jarak 50 mm, 70 mm, 100 mm, dan 150 mm yang memiliki profil yang hampir sama.



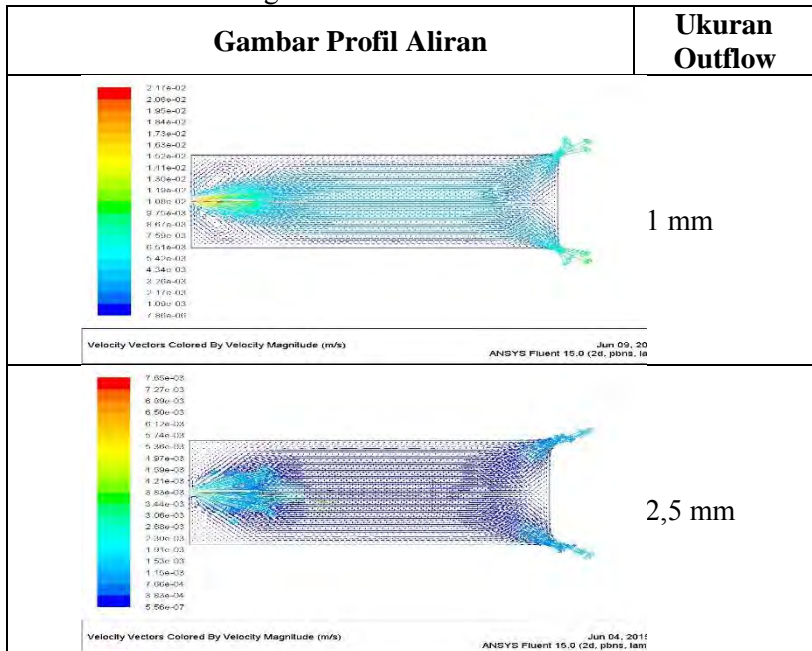
Gambar IV.9 Pengaruh Variabel Jarak Terhadap Deposisi Partikel

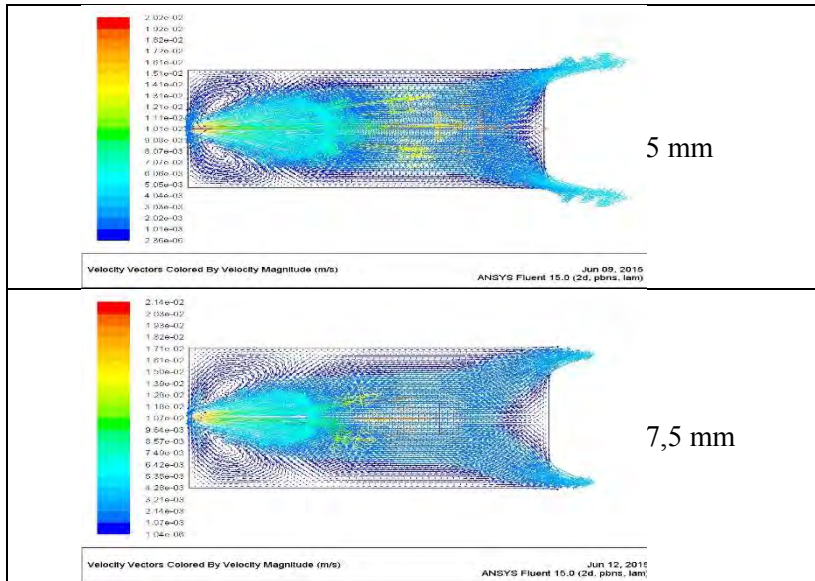
Dari **Gambar IV.9** jumlah partikel terdeposisi tertinggi didapatkan pada jarak 50 mm yaitu sebesar 492. Sedangkan jumlah terendah yaitu pada jarak 150 mm yaitu sebesar 463. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak nozzle dari substrat maka jumlah partikel yang terdeposisi konstan semakin sedikit. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak antara nozzle dan substrat maka akan memperkecil nilai *electric force* yang bekerja pada partikel, karena *electric force* merupakan gaya yang dihitung dari deviasi muatan terhadap terhadap jarak. Semakin besar nilai jarak, akan semakin kecil nilai *electric force* pada partikel untuk terdeposisi.

IV.7 Perbandingan Ukuran Outflow Terhadap Hasil Simulasi

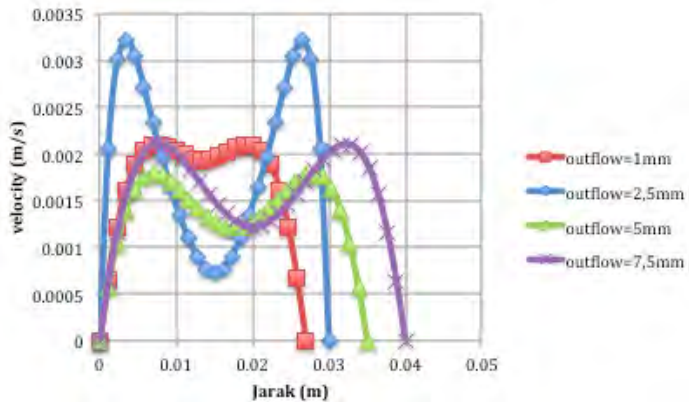
Pada simulasi dengan CFD FLUENT ini digunakan variasi panjang outflow untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil simulasi. Outflow memiliki variabel panjang pada masing-masing pada *treated area* dan *untreated area* sebesar 1 mm, 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui velocity dari aerosol sehingga diperoleh panjang outflow optimum dari proses simulasi ini.

Tabel IV.7 Vector dari profil aliran aerosol pada setiap variabel outflow gas



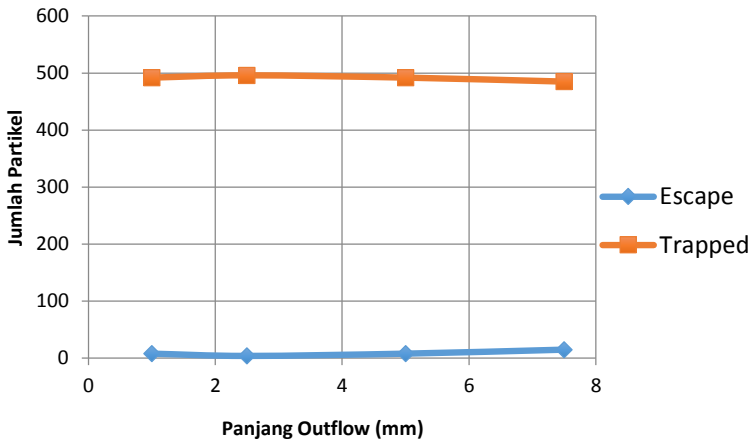


Dari **Tabel IV.7** dapat terlihat bahwa profil vektor velocity aerosol pada panjang outflow 1 mm, 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm bervariasi.



Gambar IV.10 Perbandingan panjang outflow terhadap velocity aerosol

Dari **Gambar IV.10** terlihat bahwa velocity yang paling tinggi adalah pada panjang outflow 2,5 mm dengan velocity rata-rata sebesar 0,0181 m/s.



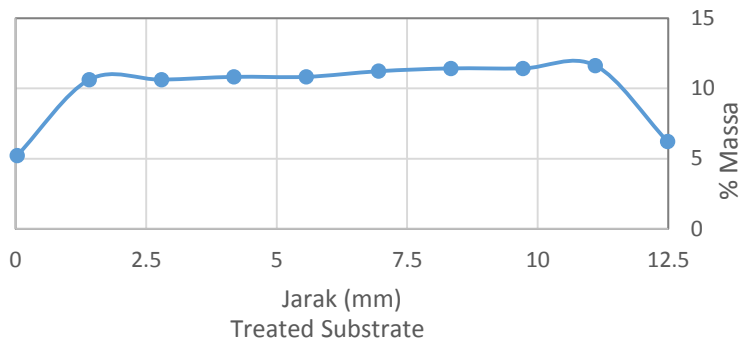
Gambar IV.11 Pengaruh panjang outflow terhadap deposisi partikel

Dari **Gambar IV.11** terlihat bahwa semakin lebar outflow maka semakin sedikit partikel yang terdeposisi karena banyak partikel yang terikut gas ke outflow. Namun pada ukuran outflow 1mm, memiliki angka deposisi partikel yang lebih rendah dari outflow 2,5 mm. Hal ini disebabkan adanya *reverse flow* di sekitar outflow. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bila ditinjau dari jumlah partikel yang terdeposisi maka kondisi optimum adalah pada panjang outflow 2,5 mm dengan jumlah partikel terdeposisi tertinggi yaitu 496.

IV.8 Profil Deposisi Partikel Pada Substrate

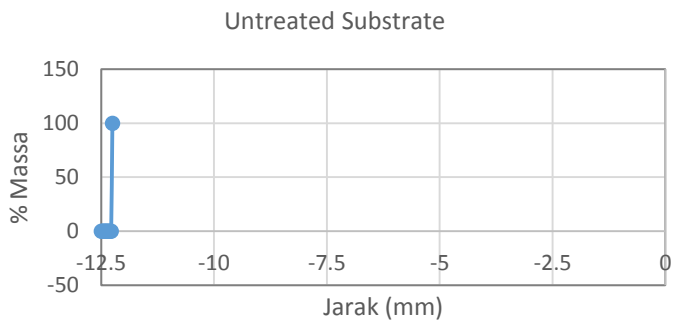
Pada kondisi optimum yang dicapai yaitu pada saat flowrate partikel 1 kg/s, flowrate gas 100 kg/s, jarak nozzle dengan substrate 70 mm, dan dengan panjang outflow 2.5

mm, diperoleh deposisi partikel tertinggi yaitu sebesar 499 partikel.



Gambar IV.12 Struktur deposisi pada treated substrate

Dari **Gambar IV.12** terlihat profil deposisi massa dari 498 partikel yang terdapat pada treated substrat. Terlihat deposisi massa tertinggi yaitu pada jarak 10 - 12.5mm dengan persentase massa partikel mencapai 12%. Hal ini disebabkan substrat pada jarak 10 – 12,5 mm dekat dengan outflow gas, sehingga deposisi partikel dipengaruhi oleh arah gerakan dari fluida gas menuju outflow.



Gambar IV.13 Struktur deposisi pada treated substrate

Sedangkan dari **Gambar IV.13** terlihat profil deposisi massa dari satu partikel yang terdapat pada untreated substrat. Terlihat deposisi massanya hanya berada pada satu titik pada jarak -12.5mm, mendekati outflow. Hal ini disebabkan substrat pada jarak -12,5 mm dekat dengan outflow gas sehingga partikel mudah terdeposisi di tempat tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penjelasan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya muatan pada partikel, substrate, dan nozzle yang menghasilkan *electric force* memudahkan proses deposisi partikel.
2. Semakin tinggi flowrate gas maka akan mempengaruhi semakin tingginya velocity aliran aerosol dan semakin banyak partikel yang terdeposisi. Kondisi optimum flowrate gas yaitu 200 ml/jam dengan jumlah partikel terdeposisi 497 partikel dari 500 partikel yang disemprotkan nozzle.
3. Semakin tinggi flowrate partikel maka akan mempengaruhi semakin tingginya velocity aliran aerosol dan semakin banyak partikel yang terdeposisi. Kondisi optimum flowrate partikel yaitu 1 ml/jam dengan jumlah partikel terdeposisi 491 partikel dari 500 partikel yang disemprotkan nozzle.
4. Perbedaan ukuran diameter partikel tidak mempengaruhi baik profil velocity aliran aerosol, maupun jumlah partikel yang terdeposisi.
5. Perbandingan jarak antara nozzle dengan substrate yang semakin jauh, tidak mempengaruhi perubahan velocity profil aliran aerosol secara signifikan. Namun semakin jauh jarak maka jumlah partikel yang terdeposisi semakin menurun.
6. Perbedaan ukuran outflow mempengaruhi variasi jenis profil vector aliran aerosol. Diperoleh kondisi optimum jarak antara nozzle terhadap substrat yaitu pada panjang outflow 2,5 mm ditinjau dari jumlah partikel yang terdeposisi tertinggi yaitu sebanyak 496 partikel.

7. Sehingga kondisi optimum akhir simulasi yang diperoleh yaitu pada flowrate gas 200 ml/jam, dengan flowrate partikel 1 ml/jam, dengan jarak antara nozzle dengan substrat sebesar 70 mm, dan dimensi outflow sebesar 2.5
8. m akan menghasilkan 99% partikel terdeposisi.

V.2 Saran

1. Melakukan percobaan dengan dimensi outflow yang lebih panjang.
2. Melakukan simulasi dengan bentuk geometri 3D.

DAFTAR PUSTAKA

- Ausburn, K. J. 2007. *Charged Particle Trajectories in Static Electric and Magnetic Fields*. Journal: Australian Journal of Physics, 14, 310
- Boccaccini, A.R., Kaya, C., Chawla, K.K. 2001. *Use of electrophoretic deposition in the processing of fibre reinforced ceramic and glass matrix composites: a review*. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 32, 997-1006.
- Celia, E., Darmanin, T., de Givenchy, E.T., Amigoni, S., Guittard, F. 2013. *Recent Advanced Designing Superhydrophobic Surfaces*. Journal of Colloid and Interface Science, 402, 1-18
- Chang, H.W., Lenggono, I.W., Ogi, T., Okuyim, K. 2005. *Direct synthesis of barium magnesium aluminate blue phosphor particles via a flame route*. Materials Letters, 59, 1183-1187.
- Deng, W., Gomez, A. 2011. *Electrospray cooling for microelectronics*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 54, 2270-2275.
- Heidari, E.K., Zamani, C., Marzbanrad, E., Raissi, B., Nazarpour, S. 2010. *WO₃-based NO₂ sensors fabricated through low frequency AC electrophoretic deposition*. Sensors and Actuators B-Chemical, 146, 165-170.
- Hinds, W.C. 1999. *Aerosol Technology : Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particle Second Edition*. USA : John Wiley & Sons Inc.
- Hwang, J.H., Park, J.H., Jeong, J.M., Kim, Chul. 2013. *Deposition of Charged Aerosol Particles on a Substrate by Collimating Through an Electric Field Assisted Coaxial Flow Nozzle*. Aerosol Science and Technology, 47:512-519.
- Jani, A.M.M, Losic, D., Voelcker, N.H. 2013. *Nanoporous Anodic Aluminium Oxide: Advances in Surface*

- Engineering and Emerging Applications*. Progress in Material Science, 58, 636-704.
- Jaworek, A., Sobczyk, A.T. 2008. *Electrospraying route to nanotechnology: An overview*, Journal of Electrostatics, 66, 197-219.
- Jung, J.H., Park, S.Y., Lee, J.E., Nho, C.W., Lee, B.U., Bae, G.N. 2011. *Electrohydrodynamic Nano-Spraying of Ethanolic Natural Plant Extracts*. Journal of Aerosol Science 42 725-736.
- Kim, H., Kim, J., Yang, H., Suh, J., Kim, T., Hn, B., Kim, S., Kim, D.S., Pikhitsa, P.V., Choi, M. 2006. *Parallel patterning of nanoparticles via electrodynamic focusing of charged aerosols*. Nature Nanotechnology, 1, 117-121.
- Kim, K., Kim, W., Yun, S.H., Lee, J.H., Kim, S., Lee, B.U. 2008. *Use of an Electrospray for the Generation of Bacterial Bioaerosols*. Journal of Aerosol Science, 39, 365-372.
- Krinke, T.J., Fissan, H., Deppert, K., Magnusson, M.H., Samuelson, L. 2001. *Nanometer-sized Particles on Flat Surfaces by Direct Deposition from Gas Phase*. Applied Physics Letter, 78, 3708-3710.
- Kusdianto, Gen, M., Lenggoro, I.W. 2014. *Area-Selective Deposition of Charged Particles Derived from Colloidal Aerosol Droplets on a Surface With Different Hydrophilic Levels*. Journal of Aerosol Science, 78, 83-96
- Kusdianto. 2014. *The Role of Chemical and Physical Properties of Substrate in the Deposition of Particles*. Japan : Tokyo University of Agriculture and Technology.
- Lenggoro, I.W., Lee, H.M., Okuyama, K. 2006. *Nanoparticle Assembly on Patterned "Plus/Minus" Surfaces from Electrospray of Colloidal Dispersion*. Journal of Colloid and Interface Science, 303, 124-130.
- Masuda, H., Higashitani, K., Yoshida, H. 2006. *Powder Technology Handbook Third Edition*. USA : CRC

Press of Taylor & Francis Group.

- Moody, Gary Paul. 2010. *Reducing Particulate Matter Emissions From Residential Wood Burning Stoves By Electrostatic Praecipitation: A CFD Modeling Study*. Quebec: École De Technologie Supérieure.
- Naim, M.N., Abu Bakar, N.F., Iijima, M., Kamiya, H., Lenggoro, I.W. 2010. *Electrostatic Deposition of Aerosol Particles Generated from an Aqueous Nanopowder Suspension on a Chemically Treated Substrate*. Japanese Journal of Applied Physics, 49, 06GH17.
- Ranganath, S.H., Tan, A.L., He, F., Wang, C.H., Krantz, W.B. 2011. *Control and Enhancement of Permselectivity of Membrane-Based Microcapsules for Favorable Biomolecular Transport and Immunoisolation*. AIChE Journal, 57, 3052-3062.
- Rezvanpour, A., Lim, E.W.C., Wang, C.H. 2012. *Computational and Experimental Studies of Electrohydrodynamic Atomization for Pharmaceutical Particle Fabrication*, AIChE Journal, 58, 3329-3340.
- Xie, J., Rezvanpour, A., Wang, C.H., Hua, J. 2010. *Electric Field Controlled Electrospray Deposition for Precise Particle Pattern and Cell Pattern Formation*. AIChE Jornal, 56, 2607-2621.
- You, S., Choi, M. 2007. *Numerical Simulation of Microscopic Motion and Deposition of Nanoparticles via Electrodynamic Focusing*. Aerosol Science, 38, 1140 – 1149.
- Zhu, S.Q., Zhang, T., Guo, X.L., Wang, Q.L., Liu, X., Zhang, X.Y. 2012. *Gold nanoparticle thin films fabricated by electrophoretic deposition method for highly sensitive SERS application*. Nanoscale Research Letters, 7, 613-616.

APPENDIKS

A.1 Menghitung Variabel Ukuran Diameter Partikel

$$\begin{aligned}\text{Contoh Perhitungan ID}_p &= 70 \text{ nm} = \frac{70}{10^6} = 7\text{e-}05 \text{ mm} \\ &= \frac{70}{10^9} = 7\text{e-}08 \text{ m} \dots\dots\dots(1)\end{aligned}$$

Variabel ID Partikel

No.	Variabel ID _p		
	(nm)	(mm)	(m)
1	70	7e-05	7e-08
2	100	1e-04	1e-07
3	250	2.5e-04	2.5e-07
4	500	5e-04	5e-07
5	1000	1e-03	1e-06

A.2 Menghitung Variabel Flowrate Gas

$$\text{ID}_{Ng} = 2 \text{ mm}$$

$$A_{Nz} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (2)^2}{4} = 3.14 \text{ mm}^2 = 0.0314 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots(2)$$

Contoh Perhitungan Variabel Flowrate Gas : Q = 25 ml/jam

$$\begin{aligned}v &= \frac{Q}{360000 \times A_{Ng}} \dots\dots\dots(3) \\ &= \frac{25}{360000 \times 0.0314} = 0.00221 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Nilai velocity dari Variabel Flowrate Gas akan dimasukkan sebagai boundary condition pada Nozzle gas saat simulasi dengan CFD FLUENT.

Variabel Flowrate Gas

NNo.	Q (ml/jam)	v (m/s)
11	25	0.00221
22	50	0.004
33	100	0.009
44	200	0.018
55	850	0.075

A.3 Menghitung Variabel Flowrate Partikel

$$ID_{Np} = 0.1 \text{ mm}$$

$$A_{Np} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.1)^2}{4} = 0.00785 \text{ mm}^2 = 7.85e-05 \text{ cm}^2 \dots (4)$$

Contoh Perhitungan Variabel Flowrate Partikel :

$$P = 1290 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0.1 \text{ ml/jam} = \frac{0.1 \times \rho}{3600000} = \frac{0.1 \times 1290}{3600000} = 3.583e-08 \text{ kg/s} \dots (5)$$

$$v = \frac{Q}{360000 \times A_{Np}} \dots \dots \dots (6)$$

$$= \frac{3.583e-08}{360000 \times 7.85e-05} = 0.00354 \text{ m/s}$$

Nilai velocity dari Variabel Flowrate Partikel akan dimasukkan sebagai boundary condition pada Nozzle partikel saat simulasi dengan CFD FLUENT. Dengan data flowrate gas dan kecepatan gas CO₂ pembawanya sama dengan nilai dari variabel flowrate partikelnya sendiri.

Variabel Flowrate Partikel beserta Gas Pembawanya (CO₂)

No.	Q (ml/jam)	Q (kg/s)	v (m/s)
1	0.1	3.583e-08	0.00354
2	0.25	8.958e-08	0.00885
3	0.5	1.792e-07	0.0177
4	0.75	2.688e-07	0.02654
5	1	3.583e-07	0.0354
6	3	1.08e-06	0.11

A.4 Menghitung Volume Fraction Partikel untuk Variabel

Diameter

Jumlah Partikel : 500

Panjang Chamber : 70 mm

Diameter Chamber: 30 mm

Partikel diasumsikan *monodisperse* dimana memiliki bentuk *spherical* dan seragam. Sehingga perhitungan volume partikel menggunakan perhitungan volume bola.

Untuk ukuran diameter = 2000 nm.

$$\begin{aligned}\text{Volume 500 Partikel} &= \frac{4}{3} \times \pi \times r^2 \times 500 \\ &= \frac{4}{3} \times 3.14 \times 0.002^2 \times 500 \\ &= 2.09 \times 10^{-3} \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Sedangkan untuk volume *chamber* digunakan perhitungan volume silinder. Karena pada eksperimen dalam ruangan berbentuk silinder.

$$\begin{aligned}\text{Volume Chamber} &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3.14 \times 15^2 \times 70 \\ &= 49455 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Sehingga *Volume Fraction* setiap ukuran Partikel adalah :

$$\text{Volume Fraction} = \frac{\text{Volume 500 partikel}}{\text{Volume Chamber}}$$

Ukuran Partikel (mm)	Volume 500 partikel (mm ³)	<i>Volume Fraction</i>	Fraksi
0.00007	0.00000256	0.0000000000519	0.0000005%
0.0001	0.00000523	0.0000000001058	0.0000011%
0.00025	0.00003271	0.0000000006614	0.0000066%
0.0005	0.00013083	0.0000000026455	0.0000265%
0.001	0.00052333	0.0000000105820	0.0001058%
0.002	0.00209333	0.0000000423280	0.000423%

A.5 Data Partikel Terdeposisi pada setiap Variabel

A.5.1 Variabel Flowrate Gas

Variabel	Particle Trap	Particle Escape
25 ml/jam	491	9

50 ml/jam	493	7
100 ml/jam	496	4
200 ml/jam	499	1
850 ml/jam	120	380

A.5.2 Variabel Flowrate Partikel

Variabel	Particle Trap	Particle Escape
0.1 ml/jam	458	42
0.25 ml/jam	465	35
0.5 ml/jam	474	26
0.75 ml/jam	482	18
1 ml/jam	491	9
5 ml/jam	408	92

A.5.3 Variabel Diameter Partikel

Variabel	Particle Trap	Particle Escape
70 nm	496	4
100 nm	496	4
250 nm	496	4
500 nm	496	4
1000 nm	496	4
2000 nm	496	4

A.5.4 Variabel Jarak Antara Nozzle dan Substrat

Variabel	Particle Trap	Particle Escape
50	492	8
70	482	18
100	475	25
150	463	37

A.5.5 Variabel Ukuran Outflow

Outflow (mm)	Escape	Trap
1	8	492
2.5	4	496
5	8	492
7.5	15	485

A.6 Menghitung *Electric Force* pada Partikel

$$\vec{E} = \frac{\Delta W}{\Delta x} \dots \dots \dots (7)$$

E = Electric Field (mV/mm)

ΔW = perbedaan muatan (V)

Δx = selisih jarak(mm)

$$F_E = q_p \vec{E} \dots \dots \dots (8)$$

F_E = *Electric Force* (N)

q_p = muatan pada partikel (C)

(Hinds, 1999)

```

/*****
UDF FLUENT for electric force
*****/
#include "udf.h"
#include "dpm.h"
#define Q 3.88e-15 /*CHARGE OF PARTICLE*/
#define v_nozzle 3e+06 /* APPLIED VOLTAGE AT NOZZLE */
#define v_treated -590 /* APPLIED VOLTAGE AT TREATED
SUBSTRATE */
#define v_untreated -260 /* APPLIED VOLTAGE AT UNTREATED
SUBSTRATE */

DEFINE_DPM_BODY_FORCE(electric_body_force,p,i)
{
    real bforce, x, y, Ex, Ey;

    Thread *t;
    cell_t c;

    /*untuk mendapatkan posisi cell dan thread poin partikel
berada*/
    c=P_CELL(p);
    t=P_CELL_THREAD(p);

    /*untuk mendapatkan posisi partikel terhadap sumbu x dan y*/
    x=P_POS(p)[0];
    y=P_POS(p)[1];

    /*menghitung electric force*/
    if (y>0) /*sebagai kondisi batas antara daerah treated
dan untreated substrate*/
    {
        if (i==0) /*untuk x komponen*/

```

```

    {
        Ex=(v_nozzle-v_treated)/x;
        bforce=Q*Ex;
    }
    else if (i==1) /*untuk x komponen*/
    {
        Ey=((v_nozzle-v_treated)/x)*y;
        bforce=Q*Ey;
    }
    else (y<0);
    if (i==0)
    {
        Ex=(v_nozzle-v_untreated)/x;
        bforce=Q*Ex;
    }
    else if (i==1)
    {
        Ey=((v_nozzle-v_untreated)/x)*y;
        bforce=Q*Ey;
    }
}
/*akselerasi yang akan dikembalikan*/
return(bforce/P_MASS(p));
}

```


BIODATA PENULIS

PENULIS I



Penulis dilahirkan di Bandung, 19 Februari 1990 merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Santo Yusuf 2 Bandung pada tahun 1996, lulus dari SD Santo Yusuf 2 Bandung pada tahun 2002, lulus dari SMP BPK Penabur Bandung pada tahun 2005 dan lulus dari SMK Farmasi BPK Penabur Bandung pada tahun 2008, berkuliah di D3 Teknik Kimia FTI-ITS tahun 2010-2013, dan diterima di Program Lintas Jalur S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya dengan NRP 2313 100 026. Selama kuliah di ITS, penulis aktif di (Ormawa) di ITS dan beberapa pelatihan – pelatihan yang diadakan di ITS.

PENULIS II



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Surabaya, pada tanggal 26 September 1992. Pendidikan formal yang telah di tempuh antara lain TK Hang Tuah III Surabaya pada tahun 1996-1998, SD Hang Tuah III Surabaya tahun 1998-2004, SMP Negeri 2 Surabaya tahun 2004-2007, SMAN 9 Surabaya tahun 2007-2010, D3 Teknik Kimia FTI-ITS tahun 2010-2013, dan diterima di Program Lintas Jalur S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya dengan NRP 2313 100 035. Selama kuliah di ITS, penulis aktif aktif dalam berbagai organisasi mahasiswa (Ormawa) di ITS dan mengikuti pelatihan-pelatihan yang diadakan di ITS.